



Universitat de Lleida

PREMIS A TREBALLS DE RECERCA DE LA UdL
per a l'estudiantat de batxillerat i cicles formatius de grau superior

L'oïda absoluta: de la percepció a la cognició

Ares Escolà Barragán

Centre: Institut Samuel Gili i Gaya (Lleida)

Tutor: Pilar Jarque Cuadras

Data: juny, 2021

L'OÏDA ABSOLUTA:

de la percepció a la cognició



Pseudònim: Frígia Agut

Curs 2020-2021

AGRAÏMENTS

M'agradaria expressar el meu profund agraïment a totes aquelles persones que, desinteressadament, han fet possible la realització d'aquest treball.

Moltíssimes gràcies a la tutora d'aquest treball, per donar-me carta blanca en tot moment, i pel seu acompanyament i consells indispensables.

Gràcies també a la meva mare, per orientar-me i encoratjar-me a l'hora de començar el treball i quan aquest es feia una muntanya. Al meu pare, per aportar tots els coneixements tecnològics i estadístics sense els quals la part pràctica d'aquest treball no hauria estat possible. Als dos també per escoltar dia rere dia els meus avenços i preocupacions.

Gràcies a la Carla Conejo i al Josep Esquerda per oferir-me consell i ajut, a més d'interessar-se pel desenvolupament del treball.

Per acabar, moltes gràcies també als 45 participants que han acceptat, de manera altruista, col·laborar en aquest projecte. Sense elles i ells, la part pràctica d'aquest treball no existiria.

Reitero, moltíssimes gràcies.

SUMARI

L'Oïda Absoluta (OA) és l'habilitat d'identificar i/o produir una nota sense necessitar un to de referència extern (Deutsch, 2014). Aquesta habilitat és poc comuna, només del 0,01 % a l'1 % de la població la posseeix (Loui, 2014). L'OA està distribuïda de manera desigual a través de les diferents poblacions del planeta: als països est-asiàtics, el percentatge d'individus amb OA és més alt que als països occidentals (Loui, 2014). La seva gènesi i característiques encara no són conegudes amb certesa i per aquest motiu l'OA ha sigut, últimament, un tema de recerca creixent, sobretot des de la millora de les tècniques de neuroimatgeria. Aquest Treball de Recerca, amb l'objectiu d'investigar les bases biològiques de l'OA i el seu processament al cervell, s'endinsa en el món de la neurologia i pretén investigar els factors que conformen l'OA. Enmig de la pandèmia de la Covid-19, l'estudi de camp plantejat consta d'una enquesta i dues proves experimentals realitzables a través de l'ordinador de cada participant (n=45). Les dues proves – una sobre el grau d'OA i l'altra sobre l'efecte Stroop – s'han dissenyat i implementat des de zero a través de la plataforma PsychoPy. A partir dels resultats, s'han realitzat múltiples anàlisis, concloent en que no és una, ni dos, sinó moltes variables en el seu conjunt les que conformen l'OA, algunes de les quals encara no es coneixen avui en dia.

Conceptes clau: oïda absoluta (OA), oïda relativa (OR), efecte Stroop, to, còrtex auditiu.

ABSTRACT

Absolute pitch (AP) is the ability to name or produce a note of a given pitch in the absence of a reference note (Deutsch, 2014). AP is rare, in fact, its prevalence among the general population ranges from 0.01 % to 1 %. It is known that AP distribution across the different populations of the planet is unequal: AP's prevalence is generally higher in East Asian than in Western countries (Loui, 2014). Since the improvement of neuroimaging techniques, AP has become an increasing subject of debate, though its genesis and distinctive traits are still little-known. Hence, the aim of this research project is to go into neurology to find out which are the biological biases of this ability and its neural underpinnings. Due to the Covid-19 pandemics, the empirical part of the project consists of a survey and two tests which can be accomplished from the computer of each participant (n=45). Both tests (the first one determining the degree of AP and the second one measuring the Stroop effect) have been designed and implemented from the outset through a digital platform called PsychoPy. Multiple analysis have been realised from the obtained results, concluding that it is not an isolated variable nor two, but all the variables as a whole what conform AP, some of whom still remain unknown.

Key words: absolute pitch (AP), relative pitch (RP), Stroop effect, tone, auditory cortex.

ÍNDEX

1	INTRODUCCIÓ	1
2	MARC TEÒRIC	3
2.1	L'Oïda Absoluta	3
2.2	L'Oïda Relativa (OR).....	4
2.3	El so.....	5
2.4	L'oïda	7
2.4.1	Fisiologia del sistema auditiu	8
2.4.2	Percepció del so.....	9
2.5	Orígens de l'OA	24
2.5.1	Associacions genètiques.....	24
2.5.2	Llengües tonals i OA	25
2.5.3	Hipòtesi del període crític.....	27
2.5.4	Hipòtesi de la pràctica	28
2.5.5	Influència de l'educació rebuda.....	29
2.5.6	Habilitats de l'OA transferides a altres camps.....	30
2.6	Correlacions neuronals de l'OA	31
2.6.1	Processament de l'OA i l'OR al cervell.....	32
2.6.2	Imatgeria per ressonància magnètica i TEP.....	36
2.6.3	Electroencefalografia.....	44
2.6.4	Connectivitat estructural.....	54
2.6.5	Connectivitat funcional	59
2.7	L'OA i les poblacions especials	64
2.7.1	Autisme	65
2.7.2	Ceguesa.....	66
2.7.3	Sinestèsia.....	66
2.7.4	Amúsia	68

3	MARC PRÀCTIC	69
4	HIPÒTESIS	71
5	MATERIALS I MÈTODES.....	73
5.1	Prova d'oïda absoluta	74
5.2	Prova de l'efecte Stroop	81
5.3	Anàlisi de resultats.....	85
6	RESULTATS I DISCUSSIÓ	89
6.1	Anàlisi descriptiva de la mostra	89
6.2	Anàlisi descriptiva dels resultats	92
6.2.1	Taula resum de les variables	96
6.3	Anàlisi comparativa dels resultats.....	97
6.3.1	Model estadístic per a estimar la puntuació d'oïda absoluta	112
7	CONCLUSIONS	115
8	BIBLIOGRAFIA.....	117
9	ANNEXOS	123

1 INTRODUCCIÓ

Des que obrim els ulls a trenc d'alba fins que els tornem a tancar a la nit, sentim milions de sons al nostre voltant: el despertador, el clàxon d'un cotxe, el so d'una cadira a l'arrossegar-se, les notes d'un piano, el repic d'una campana, la tonada d'un telèfon... Per a la majoria de persones, aquests sons no són altra cosa que sorolls de la vida quotidiana si bé per a un col·lectiu reduït de la població, aquests “sorolls” es tradueixen en forma de notes musicals o fins i tot en colors.

En el camp de la música, aquesta habilitat pot resultar molt favorable i no és d'estranyar que molts compositors i intèrprets de renom com Bach, Beethoven, Mozart, Rubenstein, Toscanini, Heifetz (Deutsch, 2014), entre d'altres, posseïssin el que coneixem amb el nom d'oïda absoluta. Per aquesta raó, aquesta habilitat s'ha titllat sovint de do misteriós i excepcional. Tanmateix, també hi ha hagut molts músics, no menys extraordinaris que els anteriors, sense oïda absoluta, com ara Wagner o Schumann (McKetton et al., 2019).

Què és, doncs, l'oïda absoluta? Com és que certes persones en tenen i d'altres no? Què passa per a que un so es pugui “traduir” en una nota musical? Totes aquestes preguntes que voltaven pel cap d'una nena de catorze anys es van anar convertint en una curiositat creixent amb els anys fins a convertir-se en el Treball de Recerca que teniu a les mans. L'interès es va desvetllar en una classe de música on el professor va explicar què era l'oïda absoluta, i em vaig adonar que allò descrit pel mestre encaixava amb la meva percepció dels sons.

En arribar l'hora d'escollir un tema pel Treball de Recerca de Batxillerat, vaig veure l'ocasió idònia per a descobrir més coses d'aquell fascinant fenomen que feia temps m'intrigava. D'aquesta manera, la curiositat que m'empenyia a investigar sobre l'oïda absoluta em va suposar l'excusa perfecta per a fusionar dues de les meves grans passions: la música i la biologia. Des d'un principi, he volgut encarar el tema en qüestió des de la vessant biològica – el com i el per què d'aquesta habilitat – i he acabat decidint endinsar-me en el món del cervell i l'oïda absoluta, un àmbit completament desconegut per mi i poc clar fins i tot per als especialistes en la matèria. Un món que ens fa veure que la música i la ciència no estan tan allunyades i que encara queda molt camí per recórrer.

Així doncs, els objectius que em proposo amb aquest Treball de Recerca són:

- Conèixer quin és el processament dels sons al cervell en els individus amb oïda absoluta;
- Investigar sobre les bases biològiques de l'oïda absoluta;
- Elaborar un recull bibliogràfic sobre l'oïda absoluta des de la vessant neurològica;
- Elaborar una part experimental a fi d'estudiar les bases de l'oïda absoluta, realitzable malgrat les limitacions de la Covid-19.

2 MARC TEÒRIC

2.1 L'Oïda absoluta

L'Oïda absoluta (OA) és l'habilitat d'identificar i/o produir una nota sense necessitar un to de referència extern Deutsch (2014). Tal com exemplifica Deutsch (2014), aquelles persones que posseeixen OA anomenen les notes musicals igual de ràpid i sense esforç que la majoria de gent és capaç d'identificar colors i, generalment, sense un entrenament específic. L'OA és una habilitat poc comuna; s'estima que només del 0,01 % a l'1 % de la població la posseeix, amb igual prevalença en ambdós gèneres, tot i que està distribuïda de manera desigual a través de les diferents poblacions del planeta. Als països asiàtics, parlants de llengües tonals, el percentatge d'individus amb OA és més alt que als països occidentals, parlants de llengües atonals (Loui, 2014).

Tanmateix, aquesta capacitat per a identificar notes no afecta a la percepció auditiva (la detecció de tons en presència d'un so disruptor, la discriminació d'un espai temporal, la resolució espacial, etc.), tan sols fa referència a l'habilitat per a etiquetar els sons, que, de retruc, afecta positivament a tasques de memòria, a exercicis de processament fonològic de la parla, a tasques de relacions entre tons (excepte algun cas concret), etc. És a dir, la capacitat auditiva és la mateixa per als individus que tenen OA com pels que no en tenen (Deutsch, 2014). El que canvia és la cognició d'aquesta tons, és a dir, el conjunt de processos intel·lectuals pels quals l'individu amb OA adquireix informació sobre l'entorn i l'elabora gràcies a la intervenció de la percepció, la memòria, etc. (Vilallonga et al., 2012).

A més a més, l'OA no és categòrica, sinó que se'n poden distingir diferents graus segons la precisió a l'hora d'identificar sons. Per exemple, algunes persones amb OA presenten més dificultats en reconèixer sons purs que sons complexos, d'altres tenen més facilitat per a identificar sons pertanyents a un cert registre (un interval de freqüències determinat), etcètera (Loui, 2014). De fet, Baharloo et al. (1998), va classificar els tipus d'OA en 4 grups. L'exactitud abastava des de la perfecta identificació tan de sons purs com de sons de piano (OA-1) fins a una

gran precisió en identificar tons de piano però un baix nombre d'encerts a l'hora d'identificar sons purs (OA-4).

2.2 L'Oïda relativa

En contrast amb la raresa de l'OA, l'habilitat d'establir la relació entre dos notes és molt més comuna entre músics i s'anomena oïda relativa (OR). La majoria de músics entrenats no presenten dificultats a l'hora d'identificar un interval concret (do – mi, tercera major), o d'identificar una nota donat un to de referència (Zatorre et al., 1998).

Considerant que anomenar una nota en l'escala occidental implica només triar una d'entre 12 possibilitats (hi ha 12 notes, o cromes, dins de cada octava), això donaria peu a pensar que persones que han invertit moltes hores en el seu entrenament musical no haurien de tenir dificultats a l'hora de reconèixer les notes però aquesta tasca és considerablement més complexa del que aparenta (Deutsch, 2014).

Cal destacar, però, que la majoria de gent té almenys un cert grau d'OA, ja que és fàcil diferenciar el to d'un piccolo del d'una tuba, o del d'un baix elèctric, malgrat no ser capaç d'anomenar les notes que sonen (Zatorre, 2003). Altrament, fins i tot persones amb manca d'entrenament musical són capaces de recordar i cantar el to exacte d'alguna cançó, o determinar si una peça familiar està tocada en el to correcte. Aquesta habilitat s'anomena OA implícita.

L'OA implícita ha estat demostrada de diverses maneres, com per exemple mitjançant la paradoxa tritonal, un il·lusió en la qual els oients fan referència a la classe de tons jutjant la seva altura relativa; o la paradoxa melòdica, que utilitza un mecanisme semblant (Deutsch, 2014).

Malgrat aquest tret, l'OA i l'OR utilitzen processos neuronals molt diferents, estudiats mitjançant neuroimatgeria. Per això, ambdues habilitats sovint presenten característiques incompatibles (Miyazaki, 2004).

I és que l'OA, segons la teoria cognitiva del “model dels dos components” postulada per Levitin, (1994), necessita dos processos essencials. El primer

(memòria tonal) està constituït per una representació a llarg termini dels tons, que existeix presumptament en tots els humans fins a cert punt (com s'ha demostrat amb les paradoxes prèviament mencionades). El segon component (etiquetatge dels tons) està format per les associacions entre les representacions a llarg termini dels tons i una etiqueta significativa (per exemple, *Do#*). Mentre que el primer component l'integren tots els humans fins a un cert nivell, el segon existeix exclusivament en els individus amb OA. Tot i això, la seva gènesi i característiques encara no són conegudes amb total certesa i, per aquest motiu, l'OA ha sigut, últimament, un tema de recerca creixent, sobretot des de la millora de les tècniques de neuroimatgeria (Leipold, Greber, & Elmer, 2019).

Abans d'endinsar-se en el camp de la neurociència per a descobrir quins processos cognitius hi ha darrere d'aquesta rara habilitat cal, però, fer una introducció al món de l'audició, començant per determinar què és el so i com funciona l'oïda.

2.3 El so

El so és la sensació produïda en el nostre òrgan auditiu per les vibracions dels cossos elàstics, propagades en un medi, que normalment sol ser l'aire, en forma d'ona sonora (Gran Enciclopèdia Catalana, 2018). La velocitat del so depèn del medi pel qual es propaga i de la seva temperatura. En aire a 15 °C, el so viatja a 340-m/s. L'acústica és la ciència encarregada d'estudiar el so com a agent propagador d'energia.

El marge de freqüència d'ones sonores que es poden percebre, anomenat rang d'audició, varia entre les espècies animals. Els humans, per exemple, només podem detectar les ones compreses entre 15 Hz i 20 000 Hz, a les quals anomenem so. Aquelles que sobrepassen els 20 000 Hz les anomenem *ultrasons*, i les que estan per sota dels 15 Hz, *infrasons*.

Així mateix, es distingeixen tres paràmetres fonamentals en el so: intensitat, to i timbre. La *intensitat* d'un so és l'amplitud de les ones acústiques, resultants de la vibració, i depèn de l'energia utilitzada. Es mesura amb un sonòmetre i s'expressa en decibels.

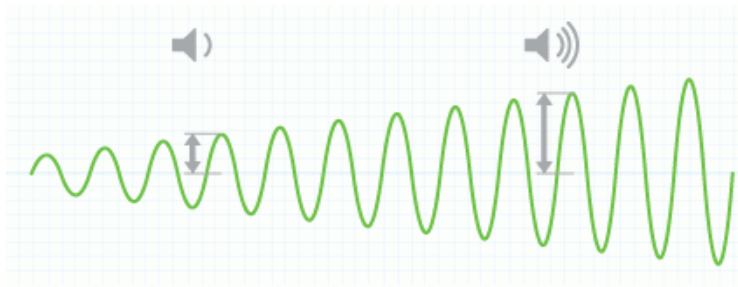


Figura 1 Ona sonora amb diferent intensitat. Font: <http://profesdeciencies.net/>.

El *to* correspon a la freqüència de les ones sonores, és a dir, el nombre d'ones sonores que es produeixen per segon i s'expressa en hertz (Hz). Aquesta freqüència de vibració, i, per tant, el so, dependrà de la vibració d'una corda o cos elàstic. Les ones amb una freqüència més alta tenen un to més agut, mentre que una freqüència més baixa fa que el to sigui greu. Es consideren sons greus aquells que van des dels 15 Hz fins els 300, i aguts els compresos entre 300 i 20 000 Hz, aproximadament.

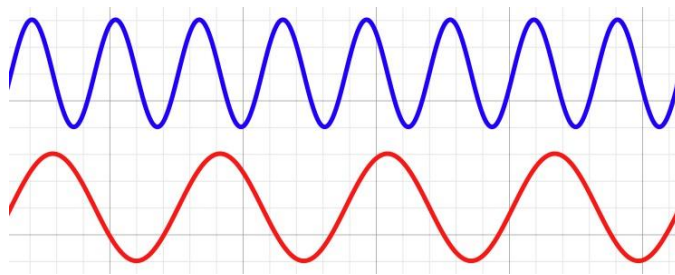


Figura 2 Ones amb freqüència elevada i to agut (blava) i amb freqüència baixa i to greu (vermella). Font: <http://explicaciones-simples.com/>.

Finalment, el *timbre* és la propietat del so que permet distingir sons amb el mateix to i la mateixa intensitat emesos per dos elements diferents (Figura 3).

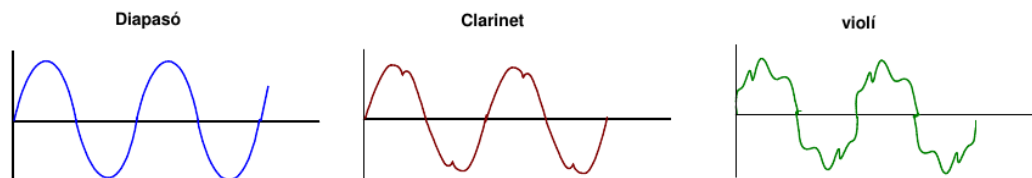


Figura 3 Variacions d'una ona sonora d'igual intensitat i igual to dependent del timbre de l'instrument. Font: <http://profesdeciencies.net/>.

A més a més, es poden distingir diferents tipus de sons emesos pels humans segons la seva composició harmònica: la música, el soroll i el llenguatge. Aquest treball es centra en la música, que és un so compost per un nombre limitat d'ones

sonores, aproximadament periòdiques, que generalment produeix una sensació agradable a l'oïda. Els sons musicals són formats per *notes*, que corresponen a una freqüència determinada de l'ona sonora, segons la referència de cada escala. A l'*escala científica*, la referència és el do_4 , que té una freqüència de 256 Hz, i la primera escala és formada per: do_4 (16 Hz), re_4 (18 Hz), mi_4 (20 Hz), fa_4 (21,3 Hz), sol_4 (24 Hz), la_4 (26,6 Hz), i si_4 (30 Hz); obtenint l'octava superior de cada nota multiplicant la freqüència corresponent per dos. Actualment, l'afinació occidental es basa en el *la* de freqüència 440 Hz o 442 Hz, tot i que aquesta referència ha anat canviant al llarg del temps.

Finalment, cal distingir entre sons purs o simples i sons complexos (Figura 4). Els sons purs tenen una ona sinusoïdal amb una freqüència f determinada. El seu període d'oscil·lació és d' $1/f$ segons. Normalment són sintetitzats amb aparells electrònics, ja que costa molt trobar-los en la natura. Els complexos, en canvi, són aquells sons els quals la seva ona sonora no té forma sinusoïdal, i està demostrat matemàticament que qualsevol so complex es pot descompondre en un conjunt de sons simples i viceversa. Són complexos els sons corrents del nostre entorn com els sorolls, la veu humana o els sons dels instruments musicals (Universitat Politècnica de València, 2015).

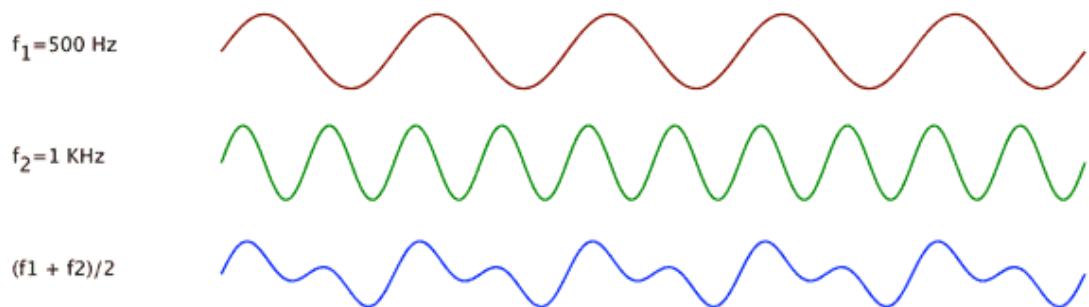


Figura 4 Ones sonores sinusoïdals de dos sons purs (f_1 i f_2), que poden fusionar-se en un so complex de freqüència $(f_1 + f_2)/2$. Font: <http://www.disca.upv.es/adomenec/IASPA/>.

2.4 L'oïda

L'oïda és el sentit pel qual es perceben els sons. Està formada pel sistema auditiu, que és aquell que permet l'audició. La seva funció és captar i transformar

les ones sonores en impulsos nerviosos, que són transportats fins a l'encèfal, on es processen. Alhora, en el sistema auditiu es pot distingir una part perifèrica, que s'encarrega de la part fisiològica, és a dir, de la captació del so, i el processament auditiu central, que s'ocupa de la part psicològica, és a dir, de la percepció del so (Romero, 2019).

2.4.1 Fisiologia del sistema auditiu

L'oïda està constituïda per tres parts (Figura 5): l'*orella externa*, formada pel pavelló auricular i el conducte auditiu extern, encarregats de recollir les ones sonores i conduir-les fins al timpà; l'*orella mitjana*, constituïda pel timpà i una cadena d'ossets (martell, enclusa i estrep) que s'ocupen d'amplificar i transmetre mecànicament els sons arribats fins a la membrana de la finestra oval; i l'*orella interna*, que es troba immersa en un líquid anomenat perilimfa i està formada per tres canals semicirculars, l'utricle, el sàcul i cargol o còclea, dins dels quals hi ha un líquid anomenat endolimfa. El cargol o còclea és l'encarregat de transformar les ones sonores en impulsos elèctrics i transmetre'ls al cervell, mentre que l'utricle i el sàcul, i els tres canals semicirculars són responsables del sentit de l'equilibri estàtic i dinàmic, respectivament.

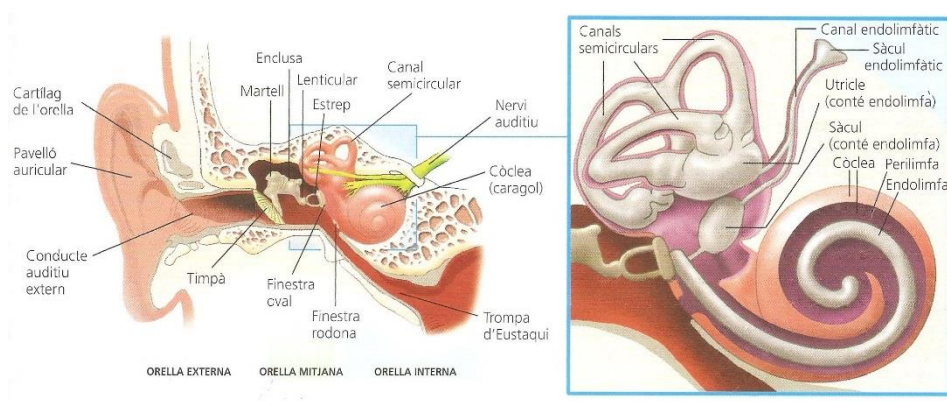


Figura 5 Parts de l'oïda, constituïda per l'orella externa, l'orella mitjana i l'orella interna.
Font: (Jiumedo et al., 2016).

Les ones sonores són recollides pel pavelló auricular i conduïdes a través del conducte auditiu extern fins al timpà, una membrana fina i elàstica que vibra quan rep el so, en resposta als canvis de pressió. Aquesta vibració es transmet mitjançant la cadena d'ossets (martell, enclusa i estrep) fins a una altra

membrana, la finestra oval, una obertura òssia situada a la paret de la còclea. Quan la vibració arriba a la finestra oval, la perilimfa es mou al voltant de la còclea i provoca el moviment de l'endolimfa dins seu, que alhora causa la vibració de la membrana basilar. Aquesta, activa unes cèl·lules sensibles internes mecanoreceptores, situades a l'òrgan de Corti, que generen i envien un impuls nerviós al cervell per mitjà del nervi auditiu (Figura 6).

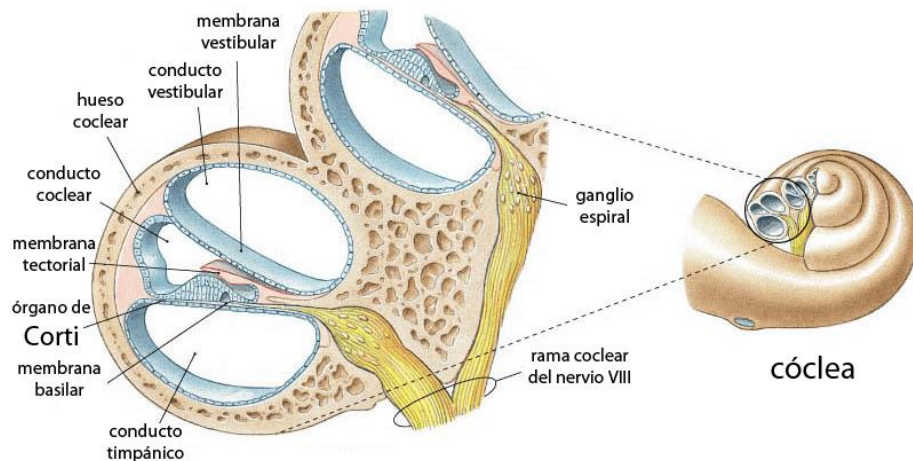


Figura 6 Còclea o cargol i les seves part. Font: www.curiosoando.com/

La major o menor amplitud d'oscil·lació de la membrana basilar varia en funció de la freqüència del so; les freqüències més altes són processades en el sector de la membrana basilar més proper a l'orella mitjana i les més baixes en el sector més llunyà a l'orella mitjana (gradient tonotòpic). Així mateix, la quantitat de cèl·lules estimulades determina la informació sobre la intensitat del so (Jiumedo et al., 2016).

2.4.2 Percepció del so

El sistema auditiu central és la part del sistema auditiu encarregada de la percepció dels sons. Sovint, aquest s'anomena part retrococlear, ja que s'esdevé després de la transformació dels estímuls auditius mecànics en energia elèctrica a les cèl·lules ciliades de l'òrgan de Corti, situades a la còclea. Està format pels nervis acústics i pels sectors del nostre cervell dedicats a l'audició: el tronc encefàlic auditiu, el tàlem i el còrtex auditiu. L'anatomia retrococlear del sistema auditiu és molt complexa i comprèn moltes vies que condueixen l'impuls nerviós

fins als centres analitzadors superiors del còrtex temporal. Tot i que l'anatomia bàsica del sistema auditiu és bastant coneguda (orella externa, mitjana i interna), la comprensió de les funcions auditives en el tall cerebral i al tàlem encara no es coneix del tot (Romero, 2019).

Per a poder descriure el complex procés de la percepció del so, però, veurem unes consideracions prèvies en relació al Sistema Nerviós Central.

2.4.2.1 Sistema nerviós

Com bé sabem, el sistema nerviós és l'encarregat de percebre, interpretar i emetre respostes davant els estímuls externs i interns (Jiumedo et al., 2016). Està compost per les neurones, unes cèl·lules molt especialitzades, capaces de transmetre impulsos nerviosos, com ja s'ha mencionat amb anterioritat, de les quals es distingeixen les sensibles (transmeten l'impuls elèctric des dels receptors fins als centres nerviosos) i les motores (la transmissió és des dels centres nerviosos fins als efectors).

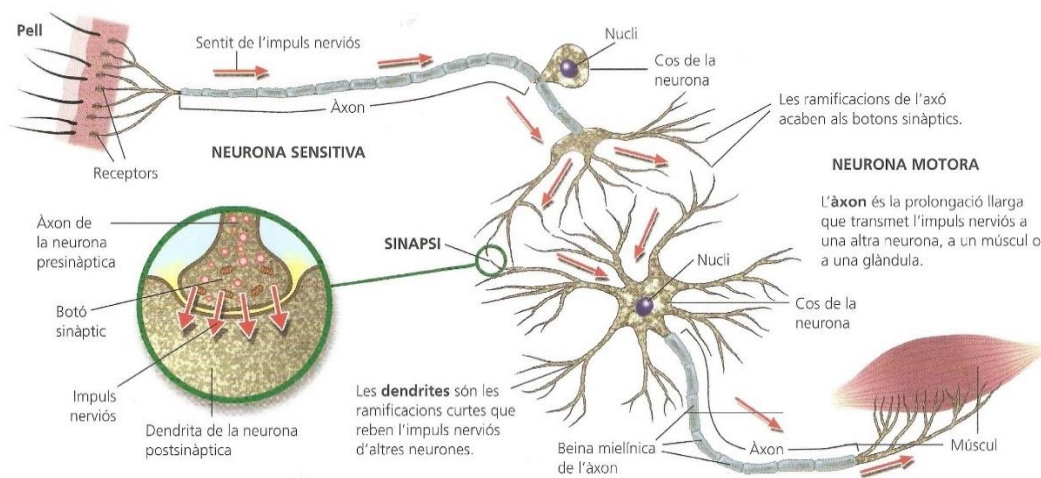


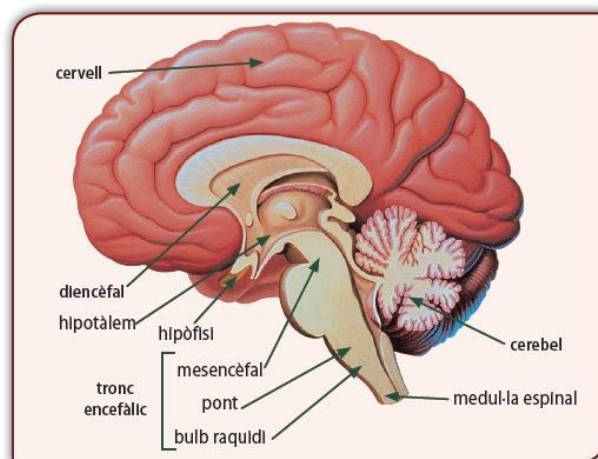
Figura 7 Esquema de les neurones sensitiva i motora i de les seves parts, així com també de la transmissió de l'impuls nerviós. Font: Jiumedo et al., (2016).

Dins del sistema nerviós, distingim el sistema nerviós perifèric (SNP), integrat pels nervis motors i sensitius que connecten el SNC amb les diferents parts del cos, i el sistema nerviós central (SNC), encarregat de rebre, integrar i elaborar una resposta a la informació rebuda a través dels nervis. El SNC està format per:

L'encèfal: és la part del SNC que es troba protegida pels ossos del crani. Comprèn el cervell, el cerebel i el bulb raquidi.

- a. *Cervell*: és la part més voluminosa i on hi resideix la memòria, la intel·ligència i la consciència. També és on arriba la informació dels òrgans dels sentits i on s'hi elaboren les respostes pertinents. La seva superfície està abundantment replegada i està dividit en dos hemisferis cerebrals per un solc profund o cissura
- b. *Cerebel*: es troba sota el cervell i manté el to muscular i l'equilibri del cos, així com les activitats que requereixen coordinar moviments involuntaris, p.ex., caminar, córrer, pedalejar, ballar, etc.
- c. *Bulb raquidi*: situat a sota del cerebel, connecta el cervell amb la medul·la espinal. És l'indret on es controlen les funcions automàtiques, com el batec del cor i el ritme de la respiració.

La medul·la espinal: és la part del SNC que recorre per l'interior de la columna vertebral. És un cilindre nerviós originat a la base de l'encèfal del qual en surten els nervis motors i hi arriben gairebé tots els nervis sensitius. És capaç de generar moviments sense la intervenció del cervell, els anomenats moviments reflexos.



*Figura 8 Parts del Sistema Nerviós Central – encèfal (i les seves respectives parts) i medul·la espinal.
Font: <https://www.blinklearning.com/>.*

Alhora, cal destacar que el SNC té neurones i les seves connexions entre elles, que originen la substància blanca i la substància grisa (Figura 9):

1. Substància blanca: està formada per les fibres nervioses o axons de les neurones, recobertes i protegides per la beina de mielina, que proporciona l'aïllament i una major propagació dels impulsos nerviosos. La mielina és

el component que li dona una aparença més blanquinosa a aquesta substància. El 60% del cervell és substància blanca (Collado, 2016).

2. Substància grisa: està formada pels cossos neuronals, les parts finals dels axons, les dendrites i les cèl·lules de la neuròglia o cèl·lules glials (cèl·lules del sistema nerviós més petites que les neurones, sense axons ni dendrites, que duen a terme funcions de suport estructural i metabòlic de les neurones). La substància grisa, a diferència de la blanca, no té capes de mielina.

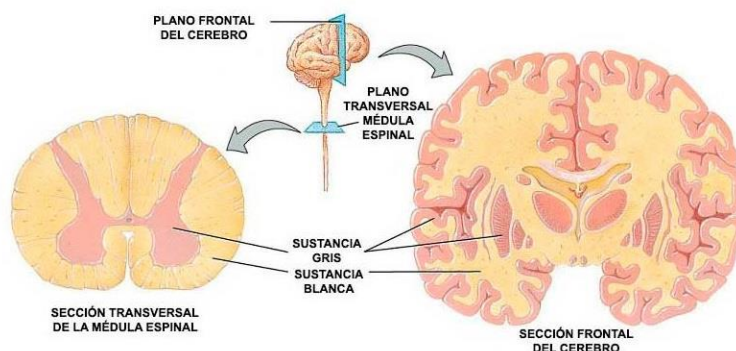


Figura 9 Substàncies o matèries grisa i blanca en la medulla espinal i el cervell. Font: <https://www.psicoactiva.com/>.

Ens situem altre cop al procés de percepció del so. L'audició, com qualsevol altra modalitat sensorial, integra una via i centres primaris, completament dedicats a la funció de processar el so, i unes vies no primàries sobre les quals convergeixen les altres modalitats sensorials (Pujol, 2020). La gran majoria de les estructures que travessa l'impuls nerviós abans d'arribar al cervell reproduïxen la organització tonotòpica de la còclea i realitzen un primer treball d'integració i filtratge de la informació auditiva abans no arribi a l'escorça o còrtex auditiu, on s'acabarà de processar i interpretar.

2.4.2.2 Vies auditives primàries

El primer nivell de la via auditiva primària està format pels nuclis coclears (al tronc cerebral), on arriben els axons de les neurones ganglionars de tipus I del gangli espiral, és a dir, del nervi auditiu (nervi vestibulococlear, el VIII nervi cranial). En aquest primer pas es realitza una important tasca de descodificació bàsica del so, en relació a la duració, intensitat i freqüència.

Un altre nivell principal del tronc cerebral és el complex olivar superior. La majoria de les fibres auditives realitzen una sinapsi (pas de l'impuls nerviós d'una neurona a una altra sense que aquestes s'arribin a tocar, gràcies a l'acció dels neurotransmissors, unes substàncies químiques) en aquest complex després de creuar la línia mitja del sistema nerviós.

A l'inici del complex olivar superior, la tercera neurona implicada permet que el missatge ascendeixi fins al mesencèfal, concretament al col·licle inferior. Aquests nivells tenen un paper essencial en la localització del so.

Seguidament, abans d'arribar al còrtex auditiu, es duu a terme un treball d'integració al tàlem o cos geniculat medial (una estructura molt complexa formada per un seguit de nuclis), és a dir, es prepara una resposta motora a l'estímul.

Finalment, l'última neurona de la vida auditiva uneix el tàlem a l'escorça o còrtex auditiu primari, on es pot elaborar una resposta voluntària al missatge auditiu, que ja ha sigut àmpliament descodificat, reconegut i memoritzat per les neurones subjacents (Figura 10).

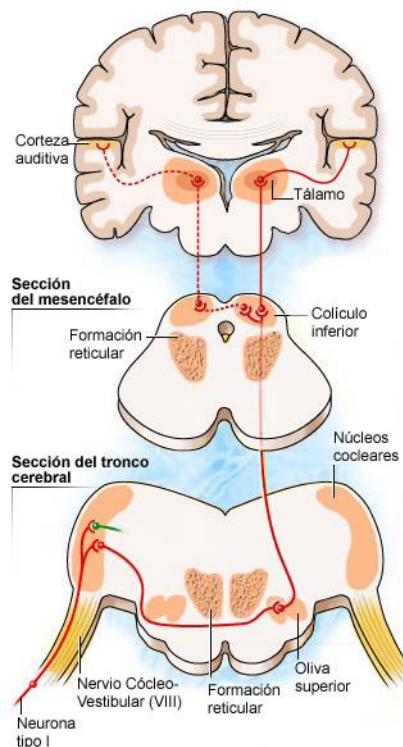


Figura 10 Vies auditives primàries, per les quals l'impuls nerviós generat a la còclea passa del nervi vestibulococlear (VIII) al còrtex o escorça auditiu, passant primer pels nuclis coclears, el complex olivar superior, el col·licle inferior i el tàlem. Font: <http://www.cochlea.eu/>.

2.4.2.3 Vies auditives no primàries

El primer nivell (nuclis coclears), comú a totes les vies auditives, vàries fibres petites s'uneixen a una via reticular ascendent, alhora comú amb totes les modalitats sensorials.

Després d'un seguit de passos dins la formació reticular i més tard a la part interespecífica del tàlem, aquesta via condueix a l'escorça o còrtex multisensorial (Figura 11).

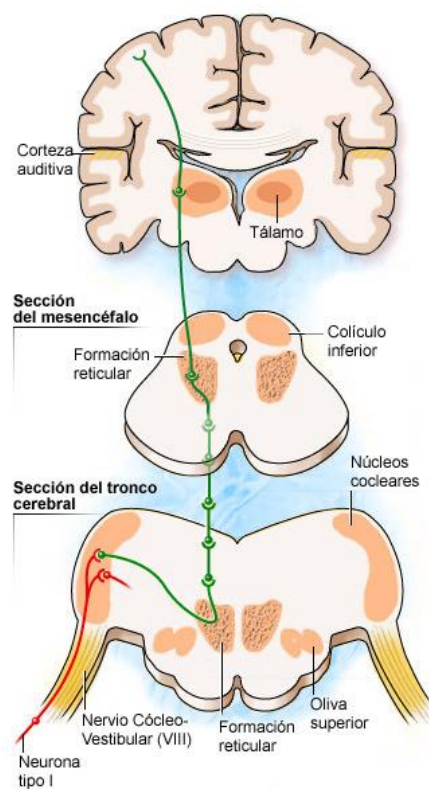


Figura 11 Vies auditives no primàries, per les quals l'impuls nerviós generat a la còclea passa del nervi vestibulococlear (VIII) al còrtex o escorça multisensorial, unint-se en les vies reticulars amb les altres modalitats sensorials. Font: <http://www.cochlea.eu/>.

El seu paper és permetre una selecció del tipus d'informació que ha de ser processada prioritàriament. Per entendre'ns, quan llegim un llibre i escoltem alhora música, aquest permet centrar l'atenció en la tasca més captivant i/o important. Aquesta via està vinculada també amb els centres de vigilància (el despertar), a més dels centres de vida vegetativa (activitats fora del control conscient, com els batecs del cor o la freqüència respiratòria), tal com es pot observar en la Figura 12.



Figura 12 Esquema que mostra la integració al comportament de la informació auditiva. Font: <http://www.cochlea.eu/>.

2.4.2.4 Escorça o còrtex auditiu

L'anàlisi final dels estímuls sonors té lloc en unes zones determinades de l'escorça cerebral. L'escorça o còrtex cerebral està formada per vàries capes de teixit neuronal (substància grisa, Figura 13), que recobreixen la superfície irregular dels hemisferis cerebrals i duen a terme funcions ben diverses. Aquestes són les capes que la integren, anomenades amb números romans (Salvador, 2018):

- I. Capa molecular: és la més externa. Coneguda també com capa plexiforme, és una capa sinàptica formada per una xarxa de fibres neuronals espessa.
- II. Capa granular externa: és la segona capa començant per l'exterior. Està formada per una gran quantitat de petites cèl·lules estrellades i piramidals.
- III. Capa piramidal externa: és la tercera capa, integrada per cèl·lules piramidals.
- IV. Capa granular interna: és la quarta capa, formada principalment per una massa de cèl·lules estrellades, la majoria de les quals reben aferències (informació que arriba del SNP al SNC) de la zona del tàlem. Quan aquestes fibres estan disposades horitzontalment s'anomenen banda externa de Baillarger.
- V. Capa piramidal interna o ganglionar: és la cinquena capa, formada per moltes cèl·lules piramidals de mida mitjana i gran, cèl·lules estrellades i cèl·lules de Martinotti (cèl·lules de forma poligonal que tenen diverses

dendrites i un axó que es dirigeix cap a les capes més superficials). Els seus filaments disposats de manera horitzontal també formen part de la banda interna de Baillarger.

- VI. Capa multiforme o polimòrfica: és la capa més interna, integrada per cèl·lules de tipus fusiforme que transfereixen la informació a l'escorça, al tàlem i als nuclis estriats. També està integrada per cèl·lules piramidals de cos neuronal triangular o ovoide.

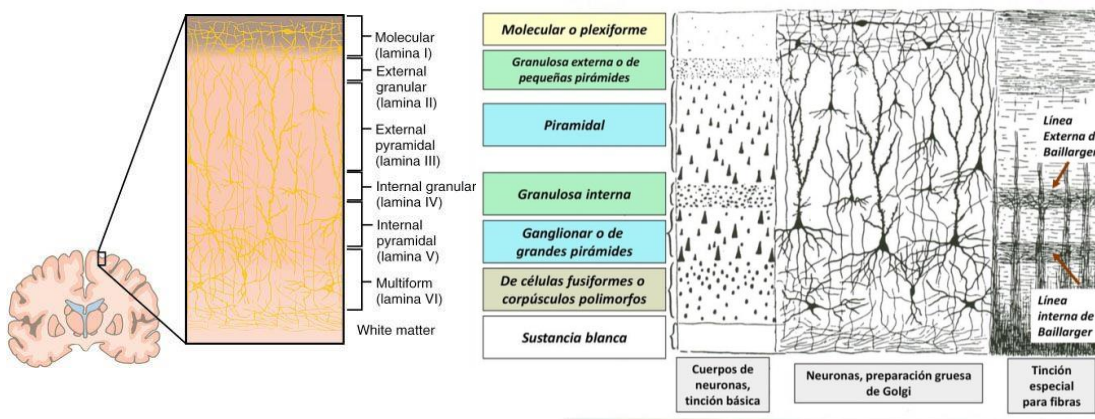


Figura 13 Diagrama de les capes de l'escorça o còrtex cerebral i de com es veuen segons el tipus de tinció. Font: <https://slideplayer.es/> i <https://medicine.academic.ru/>.

Si tenim en compte l'estructura i la formació del còrtex cerebral segons la seva història evolutiva, en podem distingir dos tipus diferents (Figura 14):

Al·locòrtex: és la part del còrtex d'origen més antic, que forma part del sistema límbic i està relacionat amb les funcions de memòria, d'aprenentatge i de comportament emocional. Es troba localitzat a l'hipocamp i a l'àrea olfactiva, on hi ha poques capes neuronals (Vilallonga et al., 2012). Alhora, es divideix en tres, segons el nombre de capes neuronals que el conformen:

- a. Arquicòrtex: és la part de l'al·locòrtex filogenèticament més antiga. Està formada per l'escorça de l'hipocamp i l'escorça de la circumvolució dentada, també a l'hipocamp, que presenten tres capes neuronals. L'arquicòrtex és l'encarregat d'elaborar les respostes automàtiques i els mecanismes de supervivència.

- b. Paleocòrtex: el seu origen és posterior a la formació de l'arquicòrtex. És l'escorça present en les àrees cerebrals relacionades amb l'olfacte, i presenta entre tres i cinc capes cel·lulars.
- c. Mesocòrtex: és la porció més evolucionada de l'al·locòrtex, on es comencen a formar les sis capes cel·lulars que presenta el neocòrtex.

Neocòrtex (o isocòrtex): és el còrtex d'origen més recent, encarregat de processos del raonament i del pensament abstracte. Està constituït per sis capes cel·lulars i es troba present en tot el còrtex excepte en l'hipocamp, i les àrees i estructures relacionades amb l'olfacte (Collado, 2013).

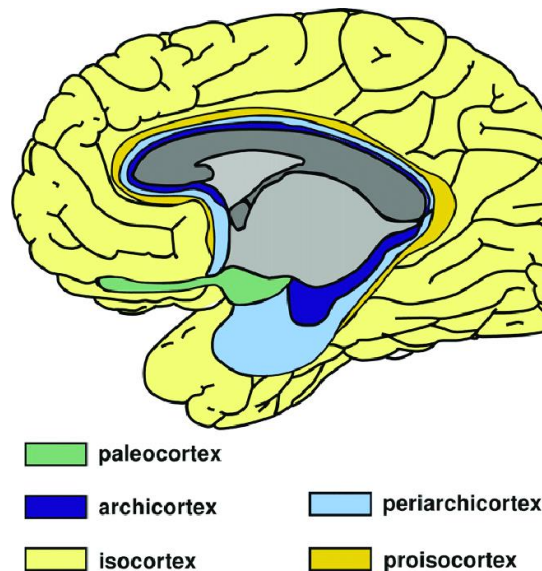


Figura 14 Tipus d'escorça o còrtex cerebral segons la seva filogènesi. L'arquicòrtex (archicortex en anglès) té un origen evolutiu més antic, el paleocòrtex (paleocortex en anglès) va ser subseqüent en la seva formació, i el neocòrtex o isocòrtex (isocortex en anglès) és el tipus de còrtex de formació més recent. La periarquicòrtex i la proisocòrtex, o mesocòrtex, (en anglès) són regions intermèdies. Font: <https://dicciomed.usal.es/>.

El còrtex és una estructura molt replegada i només un terç seu està exposat a la superfície, la resta queda amagat en esquerdes, anomenades cissures o solcs. Per altra banda, les superfícies elevades formen girs o circumvolucions (Figura 15).

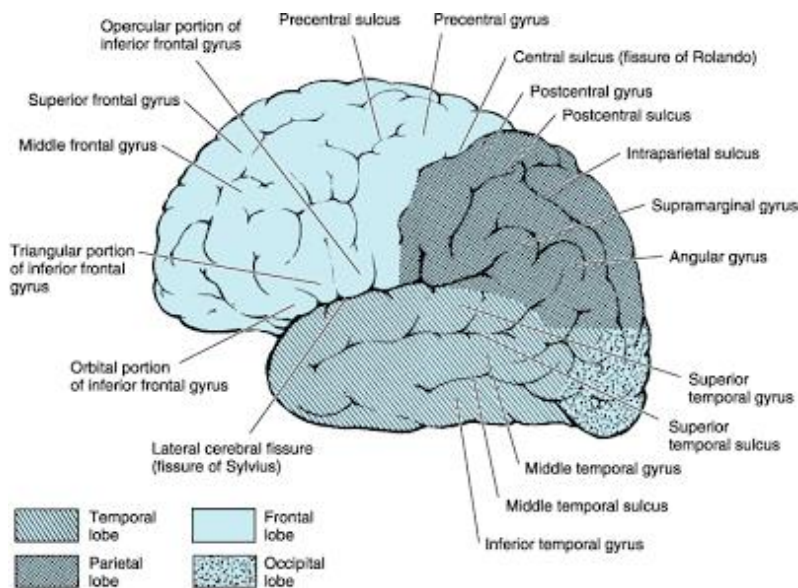


Figura 15 Lòbuls que presenta cada hemisferi cerebral (en diferents tonalitats de blau), així com també les cissures i girs més importants. Font: <http://neuromarca.com/>.

Les cissures cerebrals més importants són: la interhemisfèrica, que divideix el cervell en hemisferis; les cissures de Silvi, de Rolando, occipital i calcarina, que divideixen els hemisferis cerebrals en els lòbuls frontal, parietal, temporal, occipital i de l'ínsula (Figura 16); i la callosomarginal, que separa els lòbuls del cos callós (Gran Enciclopèdia Catalana, 2018).

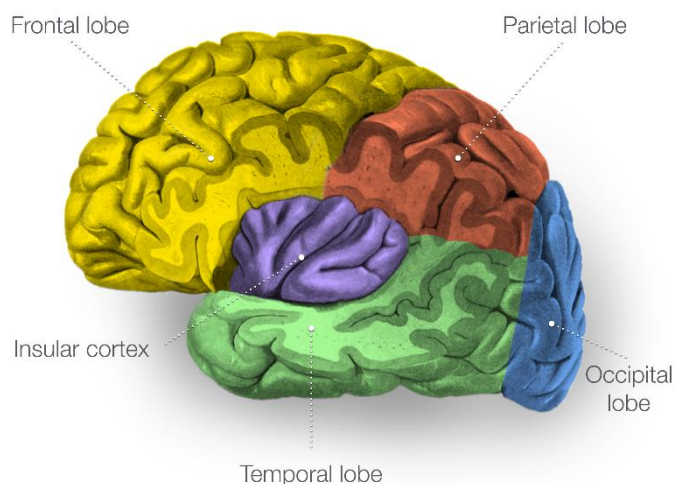


Figura 16 Representació dels lòbuls cerebrals: lòbul frontal, temporal, parietal, occipital i de l'ínsula. L'ínsula queda realment dins la cissura de Silvi però en la imatge s'ha fet un tall al cervell a la seva altura per veure-la. Font: <https://radiopaedia.org/>.

El còrtex auditiu està situat a l'escorça superior del lòbul temporal, que comprèn els dos terços superiors del gir temporal superior (GTS) (Moerel et al., 2014). Tot i que hi ha controvèrsia en definir els límits exactes de cada regió, els estudis en citoarquitectura i mieloarquitectura – l'estudi del tipus de cèl·lules i la seva densitat en els diferents estrats de l'escorça i l'estudi de la variació de la mielina en les neurones, respectivament – han convergit en dividir el còrtex auditiu en tres regions (a escala macroscòpica). Aquestes regions (d'anterior a posterior) són: el planum polare (PP), el gir de Heschl (GH) o circumvolució temporal transversa, i el planum temporale (PT), Figura 17.

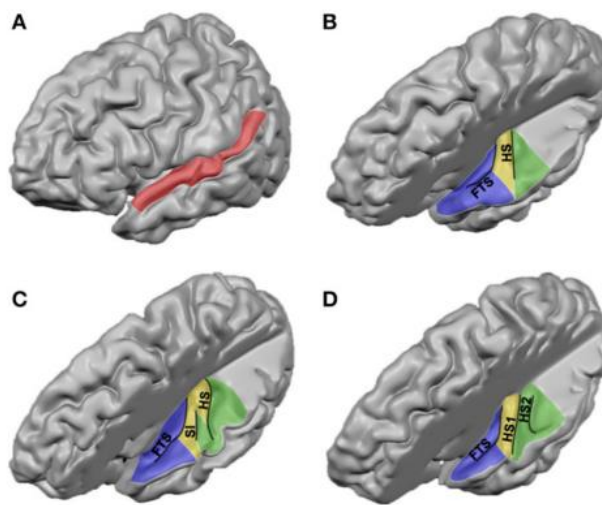


Figura 17 Llocs d'interès de l'escorça superior del lòbul temporal humà. A: Vista lateral de l'hemisferi esquerre, amb el gir temporal superior (GTS) indicat amb vermell. B-D: Vista aèria de l'escorça superior del lòbul temporal, havent tret una gran part del lòbul parietal. El planum polare (PP), el gir de Heschl (GH) i el planum temporale (PT) estan indicats amb blau, groc i verd, respectivament. Les cissures més grans estan remarcades amb negre (FTS, primer solc transversal; SI, solc intermedi; HS, solc de Heschl; HS1, primer solc de Heschl; HS2 segon solc de Heschl). Les figures B-D també mostren hemisferis amb GH diferents. Font: (Moerel et al., 2014).

Es podria considerar que el gir de Heschl és la part principal del còrtex auditiu i, alhora, aquest es pot dividir en: el còrtex auditiu primari (CAP o A1), que ocupa la meitat del GH; la part rostral (R, més pròxima al rostre) i la part rostral-temporal (RT), Figura 18.

Les altres àrees que envolten el GH (PT, PP i d'altres) es denominen belt (cinturó, en anglès) i les més externes a aquest, parabelt.

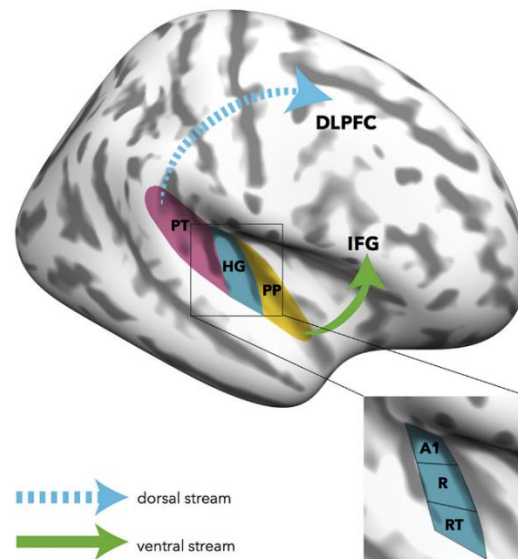


Figura 18 Vista lateral de l'hemisferi dret, amb les parts del còrtex auditiu destacades. En roig, el planum temporale (PT); en blau, el gir de Heschl (HG); en groc, el planum polare (PP). A sota, el gir de Heschl ampliat, en el qual es poden distingir el còrtex auditiu primari (CAP o A1), la part rostral (R) i la part rostral-temporal (RT). Font: Leipold, Greber, et al., (2019).

És important remarcar el fet que aquestes àrees mostren mapes tonotòpics, és a dir, estan organitzades espacialment per diferents poblacions neuronals (grups de neurones que comparteixen les mateixes característiques) que tenen una selectivitat de freqüències determinada (Figura 19).

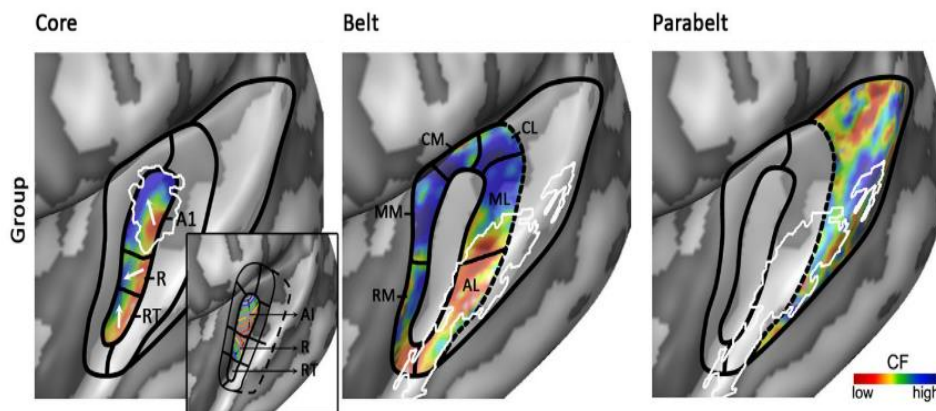


Figura 19 Model del còrtex auditiu humà. Es poden observar la seva divisió en el GH (core, en anglès) i les àrees circumdant, el belt i el parabelt. En la imatge situada més a l'esquerra, unes fletxes blanques indiquen la principal direcció del gradient de freqüències en el GH (low-high, de roig a blau, respectivament). Les línies blanques indiquen a la imatge de l'esquerra la mieloarquitectura, i a la imatge central i la de la dreta, la selectivitat de freqüències de la veu o la parla. Font: Moerel et al., (2014).

La selectivitat de freqüències és el rang de freqüències al qual respon una neurona. S'ha vist que aquesta selectivitat és més àmplia en individus amb OA en determinades zones (McKetton et al., 2019). Per exemple, les neurones de

les zones implicades en la percepció de la veu o la parla responen a les freqüències del to més baixes (Moerel et al., 2014). Ara bé, l'orientació dels mapes o gradients tonotòpics en el còrtex auditiu encara està en debat.

Les diferents regions del còrtex auditiu han estat anomenades amb diferents nomenclatures, de les quals la de Brodmann és probablement la més coneguda. Aquestes són les diferents nomenclatures (Taula 1):

Investigador	Giro de Heschl	Plano Temporal	Giro Temporal superior lateral	Plano Polar
Brodmann, 1909	41	42	22	52
Von Economo y Koskinas, 1925	TC/TD	TB	TA	IBT
Galaburda y Sanides, 1980	Kam/ Kalt	PaAi, PaAe, PaAc, Tpt	PaAe, Tpt	ProA
Rivier y Clarke, 1997	AI	LA/PA	STA	MA
Morosan y col, 2005	Te1 (Te 1.1/1.0, 1.2)	Te2 (Te2.1/Te2.2)	Te3	TI

Taula 1 Diferents nomenclatures de les regions que corresponen al còrtex auditiu (en castellà). Font: Jara & Délano R (2014).

El planum polare (PP), àrea 52 de Brodmann, està situat abans que el GH i recentment s'ha vist implicat en l'OA (Kim & Knösche, 2017).

El gir de Heschl (GH) correspon a l'àrea 41 de la topografia de Brodmann (Figura 20).

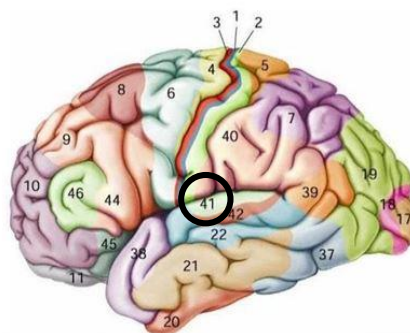


Figura 20 Mapa de las àrees de Brodmann. Envoltada d'una circumferència negra es pot observar la regió 41, coneguda com CAP o GH. Font: <https://www.saera.eu/>.

Aquesta zona està gairebé oculta dins la cissura de Silvi, i es troba adjacent a l'àrea de Wernicke (22 dels mapes de Brodmann). Els estímuls sonors, provinents d'ambdues orelles, es projecten sobre l'àrea 41, on es descodifiquen les propietats o característiques bàsiques del so (Bernard J. Baars, 2010).

Finalment, en una zona posterior del PT trobem l'àrea 22 de Brodmann, anomenada àrea de Wernicke perquè Carl Wernicke va postular que aquesta regió té un paper destacable en la percepció i comprensió del llenguatge i la parla. A més, al llarg de la literatura de l'OA s'ha mencionat nombroses vegades. Existeixen diferències interhemisfèriques en el PT, que tant poden ser causades per una dominància hemisfèrica (i.e., ser esquerrà o dretà) com per un cas concret individual. Aquesta asimetria també es fa palesa en alguns individus que posseeixen OA, doncs presenten un PT dret més petit que l'esquerre. Això ha suggerit múltiples hipòtesis sobre la funcionalitat d'aquesta àrea del cervell (Amunts, 2012).

Hi ha també altres regions que es veuen implicades en el processament dels sons, concretament en el processament de l'OA (Figura 21). Aquestes es veuran mencionades al llarg d'aquest treball i són, entre d'altres: les àrees dorsolateral i ventromedial del còrtex prefrontal (en anglès, DLPF i VLPFC, respectivament); el primer solc transvers (en anglès, FTS); el solc de Heschl (en anglès, HS); el gir temporal superior lateral (en anglès, LSTG); el solc temporal superior (STS); les vies dorsals esquerra i dreta (en anglès, DP-L i DP-R, respectivament), les vies ventrals esquerra i dreta (en anglès VP-L i VP-R, respectivament).

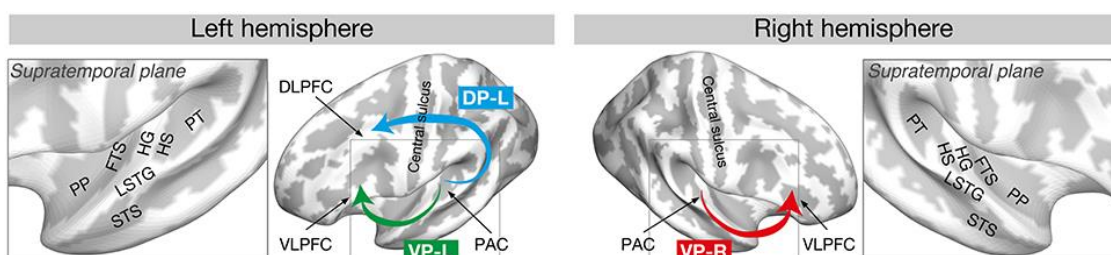


Figura 21 Diferents regions implicades en el processament de l'OA en els hemisferis esquerre i dret, respectivament. Són: les àrees dorsolateral i ventromedial del còrtex prefrontal (en anglès, DLPF i VLPFC, respectivament); el primer solc transvers (en anglès, FTS); el solc de Heschl (en anglès, HS); el gir temporal superior lateral (en anglès, LSTG); el solc temporal superior (STS); les vies dorsals esquerra i dreta (en anglès, DP-L i DP-R, respectivament), les vies ventrals esquerra i dreta (en anglès VP-L i VP-R, respectivament). Font: Kim & Knösche (2017).

2.4.2.5 Diferències hemisfèriques en el còrtex auditiu

Deixant de banda el fenomen de l'OA, s'han detectat diferències entre ambdós hemisferis al cervell humà. Pel que fa als mapes tonotòpics, no s'observen diferències interhemisfèriques en les regions implicades en l'audició, a excepció del solc de Heschl que comprèn el PT i el GTS posterior. També cal destacar que s'ha observat una major variabilitat entre individus en els mapes tonotòpics de l'hemisferi dret de la que hi ha en l'hemisferi esquerre; es creu que el pla temporal superior dret es veu modelat per les experiències pròpies de cada individu al llarg del seu desenvolupament, tant en els mapes tonotòpics com en l'anatomia a escala macroscòpica.

Pel que fa a l'anatomia del còrtex auditiu, a escala macroscòpica, el pla temporal superior dret està posicionada més anterior i lateralment que l'esquerre, aproximadament 7 i 5 mm, respectivament.

A més, la cissura de Silvi és més llarga i horitzontal en l'hemisferi dret, i la mida del PT és també major en aquest hemisferi (Figura 22). A més, s'han detectat diferències a escala microscòpica pel que fa al PT i altres regions del còrtex auditiu, mentre que la CAP o A1 té la mateixa mida en ambdós hemisferis (Moerel et al., 2014).

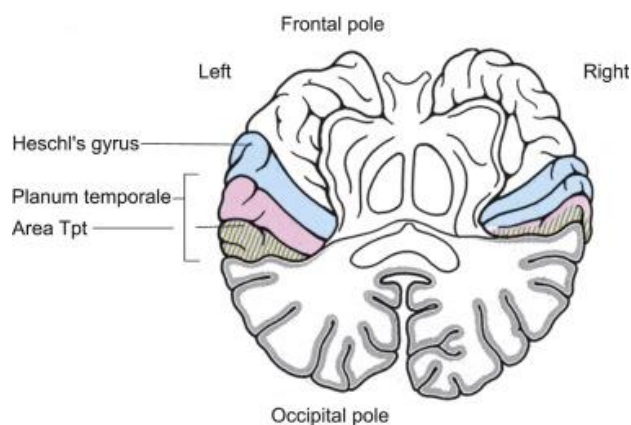


Figura 22 Diferències anatòmiques del còrtex auditiu. Es poden observar un GH i un PT més grans en l'hemisferi esquerre, entre altres. Font: <https://www.sciencedirect.com/>.

Quant al rol de cada hemisferi, s'ha suggerit que l'hemisferi esquerre està més especialitzat en el processament temporal i el dret, en canvi, en el processament de l'espectre sonor. L'anàlisi de la parla requereix un bon processament temporal (p.ex. per tal de processar els canvis ràpids en la pronúncia de les consonants),

mentre que l'anàlisi tonal requereix un bon processament de les freqüències del so (Zatorre & Belin, 2001). Per tant, es pot concloure en que l'hemisferi esquerre excel·leix en el processament del llenguatge i que l'hemisferi dret destaca en tasques de processament tonal, musical i vocal.

Un factor molt interessant és que les asimetries de l'anatomia del còrtex auditiu a escala macroscòpica parlant, prèviament mencionades, ja existeixen en infants, suggerint d'aquesta manera que estan determinades genèticament (Amunts, 2012). Per altra banda, el pla temporal superior dret es veuria modelat per les experiències pròpies de cada individu al llarg del seu desenvolupament.

Això ens condueix a pensar si l'OA podria estar influïda pel genotip de cada individu, o bé ser el resultat d'una exposició a uns certs factors ambientals durant el desenvolupament de cada individu. Els estudis al respecte, però, no conclouen en cap afirmació rotunda. Vegem, doncs, quins són els possibles orígens d'aquesta habilitat.

2.5 Orígens de l'OA

El debat sobre els orígens de l'OA presenta punts de vista que oscil·len entre ser un caràcter completament innat a ser un tret completament adquirit (Loui, 2014). Degut a aquestes controvèrsies, s'han estudiat els mecanismes neurològics que formen la base de l'OA per entendre millor la interacció entre els gens i els factors ambientals.

2.5.1 Associacions genètiques

Es sap que l'OA té fortes associacions genètiques, doncs aquells que la posseeixen tenen una alta probabilitat de tenir germans també amb OA, fins i tot en famílies on no compten amb formació musical (Loui, 2014).

L'etiologia de l'OA és complexa. Un seguit d'estudis van observar línies genealògiques amb una alta prevalença d'OA, suggerint que aquest tret és determinat per un gen dominant autosòmic (Baharloo et al., 1998).

Posteriorment, Theusch et al. (2009) van assenyalar una associació de l'OA amb un polimorfisme, diferent entre races, mitjançant la realització d'un vast estudi de connexió de 73 famílies amb OA. Es van utilitzar marcadors 6090 SNP ("Simple Nucleotide Polymorphism") per analitzar els seus genotips. Coincidències al cromosoma 8 (locus 8q24.21) van ser observades en 45 famílies de provinença europea, mentre que en 19 famílies de descendència est-asiàtica es van detectar en el cromosoma 7 (locus 7q22.3). Tanmateix, com que es van trobar més coincidències en altres locus, es va concloure que l'OA és genèticament heterogènia.

A més a més, l'OA es troba amb més incidència entre la població de descendència ètnica est-asiàtica. Primerament, es va associar aquesta major incidència amb una predisposició genètica. No obstant, estudis més recents proven que aquest avantatge est-asiàtic també existeix en tasques d'OR. Per tant, això permet deduir que la genètica de descendents est-asiàtics no explica completament l'origen de l'OA, hi hauria també altres factors involucrats (Loui, 2014).

2.5.2 Llengües tonals i OA

Una possible explicació de trobar un major percentatge d'OA entre individus provinents d'un llinatge est-asiàtic ve donada per la hipòtesi de les llengües tonals: les llengües est-asiàtiques, moltes de les quals es basen en el to per a comunicar un significat, podrien proveir una base per al desenvolupament precoç de l'OA, possiblement de manera anàloga als inicis de la formació musical precoç. Aquestes afirmacions es basen en la datació que els parlants de llengües tonals tenen moltes més probabilitats de tenir OA, comprovant que no és degut a una possible influència genètica. Concretament, la prevalença d'OA és major en parlants de llengües tonals que en parlants de llengües d'accent tonal; i en el darrer grup, la incidència d'OA és més alta que entre els parlants de llengües no tonals. Així mateix, la precisió de l'OA està associada a una major fluïdesa en llengües tonals (Loui, 2014).

Primerament, cal discernir entre les llengües tonals, llengües d'accent tonal i llengües no tonals:

- A. Llengües tonals: en aquestes, les paraules prenen significats lèxics diferents segons el to en el qual són enunciades. Els tons lèxics venen definits tant per la seva alçada (registre) com per la seva corba de nivell tonal. Ho són, per exemple, el mandarí, el cantonès, el Thai i el vietnamita. En mandarí, per exemple, la paraula “ma” significa “mare” quan es pronuncia en el primer to (alt i a la mateixa altitud), “cànem” en el segon to (mig-alt i creixent), “cavall” en el tercer to (baix, primer decreixent i després creixent) i retret en el quart to (alt i decreixent).
- B. Llengües d'accent tonal: en aquestes, el significat d'algunes paraules difereix depenent del to de les síl·labes en les quals estan compreses. Ho són el japonès i alguns dialectes del coreà, entre altres. Posem per cas el japonès de Tokio: la paraula “hashi” vol dir “palets xinesos” quan es pronuncia alt-baix (en to), “pont” quan es pronuncia baix-alt i “vora” quan ambdues síl·labes es pronuncien amb el mateix to. Així doncs, en japonès el to també juga un paper important en l'atribució de significat lèxic però el seu rol no és tan crític com en les llengües tonals.
- C. Llengües no tonals: en aquestes, el to pot transmetre informació de l'estat emocional del parlant però no canvia el significat de la paraula pronunciada. Ho són el català i l'anglès, per exemple.

En el cas de les llengües tonals, com s'ha mencionat prèviament, quan es pronuncia una paraula amb el primer to, posem per cas, s'associa un to determinat (o una combinació de tons) amb una etiqueta significativa. Anàlogament, quan un individu amb OA sent la nota “la”, l'identifica amb l'etiqueta “la” (Deutsch et al., 2004).

Tot i que la comunicació de prosòdia – l'accent, l'entonació, l'harmonia vocàlica, etc. – i emoció té lloc a l'hemisferi dret del cervell (tan en les llengües tonals com en les no tonals), el processament del to lèxic es duu a terme a l'hemisferi esquerre. Aquesta afirmació, comprovada mitjançant diversos estudis, implica que quan un parlant d'una llengua tonal produeix i percep tons (o corbes de nivell tonal), s'activen un seguit d'àrees en l'hemisferi esquerre. Segons altres estudis que posen de manifest un període crític per l'adquisició de la parla, es pot deduir que aquest activament d'àrees en l'hemisferi esquerre es desenvolupa

precoçment, durant un període on els infants adquireixen també altres trets de la parla.

Per tant, es podria conjecturar que si els tons estan associats amb paraules significatives durant la infància, fet que ocorre en l'hemisferi esquerre, aquest hemisferi podria ser també el causant de la connexió entre tons i “etiquetes” verbals que té lloc en l'OA. A més, es podria suposar que si els individus no tenen l'oportunitat d'establir aquestes associacions de manera precoç, els serà molt difícil adquirir OA més tard. Aquests raonaments podrien explicar la presència de l'OA implícita combinada amb l'absència d'OA explícita en parlants de llengües no tonals (Deutsch, 2014).

2.5.3 Hipòtesi del període crític

Tal com s'ha mencionat recentment, sembla ser que per al desenvolupament de l'OA, a més d'un component genètic, es necessita establir associacions entre unes categories estretament definides per cada to i una corresponent etiqueta significativa de manera precoç. Aquesta correlació entre l'edat d'inici d'entrenament musical i la possessió d'OA s'explica mitjançant la hipòtesi del període crític (Loui, 2014), que al·lega un desenvolupament d'aquesta habilitat abans dels 9 anys; òptimament entre els 3 i 6 anys de vida (Miyazaki, 2004).

De manera anàloga a l'OA, altres habilitats cognitives com la parla – la fonologia, el lèxic i la semàntica - s'adquireixen també durant aquest període de maduració (Deutsch, 2014).

En relació a la hipòtesi del període crític, un estudi farmacològic va mostrar que persones que seguien un tractament de *valproat*, una medicina utilitzada per tractar l'epilèpsia i el trastorn bipolar que pot canviar el període crític tot manipulant processos cel·lulars de neuroplasticitat, eren capaços d'aprendre l'OA una mica millor que els controls, aportant una evidència contundent més a la hipòtesi (Loui, 2014).

D'altra banda, cal destacar també el fet que els individus que presenten OA, a mesura que envelleixen, detecten una pèrdua en l'exactitud de la percepció del

to, com a molt de semitò (Baharloo et al., 1998). De tota manera, aquesta pèrdua d'exactitud a partir dels 40-50 anys pot no produir-se.

Finalment, el consum d'alguna determinada medicació també pot provocar canvis en l'exactitud de l'OA. La carbamazepina – una medicina que s'empra pel tractament d'epilèpsia i altres desordres – produeix un canvi en la percepció del to d'aproximadament un semitò més baix, amb menor impacte en les octaves més baixes i creixent a mesura que la freqüència és més elevada. Afortunadament, aquest efecte desapareix ràpidament quan el fàrmac es deixa d'ingerir (Deutsch, 2014).

2.5.4 Hipòtesi de la pràctica

Contràriament a la hipòtesi del període crític en l'OA, que està complementada per l'existència d'una predisposició genètica, la hipòtesi de la pràctica suggereix que aquesta habilitat es pot adquirir durant l'edat adulta, però només a través d'un entrenament laboriós. Al llarg de la història de la investigació de l'OA s'han dut a terme diversos intents d'adquirir OA durant la maduresa, generalment amb resultats negatius o poc convinents. No obstant, Brady (1970) va documentar en ell mateix un intent positiu d'adquisició d'OA un cop passat el període crític. Brady era un pianista que havia començat una formació musical als 7 anys, però no posseïa OA. Va practicar amb cassets durant 60 hores i va aconseguir una taxa de 65% encerts o 97%, si acceptem errors de semitò (Deutsch, 2014). Aquest cas contrasta amb l'adquisició precoç de l'OA, sovint de manera automàtica, inconscient i sense entrenament específic en tasques d'identificació de notes.

Per tant, s'ha demostrat que és possible memoritzar una categoria fixa pel to fins a cert punt, tot i que l'OA adquirida durant l'edat adulta no té el mateix grau de perfecció que l'adquirida durant la infància (Miyazaki, 2004).

Aquí, Van Hedger et al. (2019) van fer una important contribució demostrant que sí que es pot aconseguir aquest grau de perfecció, almenys en alguns adults, però després d'un entrenament intensiu durant vuit setmanes. En el seu estudi, els subjectes havien de retenir aquesta habilitat adquirida durant l'entrenament

com a mínim quatre mesos després de les sessions. Aquesta constatació debat les teories del període crític i de la predisposició innata, i proposa una altra teoria que només es pot entendre amb la influència de les altres dues: l'adquisició de l'habilitat. La teoria proposa que l'habilitat auditiva es veu modelada tant per experiències a curt o a llarg termini, i afirma que els individus haurien de ser capaços de millorar la seva OA a través d'un entrenament específic a qualsevol edat, fins i tot podent arribar al mateix nivell de perfecció que l'OA adquirida durant la infància (quant a rapidesa i exactitud). Per tant, cal tenir en compte que l'OA no és una habilitat "tot o res", sinó que hi ha diferents graus intermedis.

Val a dir, però, que els subjectes estudiats per Van Hedger et al. (2019) havien estat seleccionats prèviament segons la seva habilitat de la memòria de treball. A més, no tots els músics estudiats van aconseguir desenvolupar OA, apuntant així que l'adquisició de l'OA absoluta durant la maduresa és molt difícil o pot dependre de característiques individuals molt específiques. Ara bé, aquesta línia recent de raonaments necessita més recerca.

2.5.5 Influència de l'educació rebuda

Més enllà de la llengua parlada i de l'edat d'inici a la formació musical, existeixen altres factors determinants d'influència externa pel desenvolupament de l'OA, com ja s'ha mencionat en l'apartat anterior. L'educació rebuda n'és un clar exemple: es creu que els sistemes d'instrucció de solfeig amb do-fixe entrenen millor l'OA que els que funcionen amb un sistema de do-mòbil (Gregersen et al., 2001). Els sistemes de solfeig amb do-fixe inclouen, per exemple, el mètode Yamaha i el "Royal College method". En els sistemes de do-fixe, els símbols de solfeig (do, re, mi, etc.) i les lletres (C, D, E, etc.) defineixen els tons reals. En la pedagogia del do-mòbil, en canvi, els símbols de solfeig defineixen els rols dels tons en relació a una tònica i les lletres defineixen els tons reals. És a dir, el "do" pot ser associat amb diferents tons, depenent de la tonalitat en que es desenvolupa cada exercici, fet que propicia un desenvolupament de l'OA relativa. Tanmateix, aquest fet es pot donar contràriament segons el país i cultura on succeeixi, ja que es difícil discernir entre la influència genètica, la influència de la llengua parlada i un inici precoç d'entrenament musical (Loui, 2014).

A més a més dels efectes del sistema de solfeig emprat, els efectes del timbre i el registre també són notoris en la identificació del to. Per exemple, la majoria d'individus amb OA presenten més exactitud al rang mig del piano; els violinistes, en canvi, són més acurats en el registre agut; els violoncel·listes en el registre greu; els pianistes en les tecles blanques en comparació amb les negres. Així mateix, segons uns estudis de Baharloo et al. (1998), alguns individus amb OA presenten més avantatges per identificar tons produïts per un piano que tons purs.

També hi ha evidències considerables que la precisió a l'hora d'identificar cada to està associada a la freqüència que apareix cada to específic en la música a la qual el subjecte ha estat exposat durant la seva vida. Aquesta connexió proposa que hi ha propietats de l'OA que es poden aprendre (Loui, 2014).

Una altra prova respecte a la influència del tipus d'entrenament musical és que els infants als quals s'ensenya a tocar un instrument transpositor presenten un clar desavantatge per a desenvolupar OA. Per il·lustrar, quan es toca un “do” en un clarinet en “si b”, la nota real que sona és un “si b”. El mateix passa, per exemple, a la trompa en “fa”. Aquestes discrepàncies entre les notes llegides i les notes que sonen és el que dificulta l'adquisició d'OA. Tampoc és favorable la incidència d'individus amb OA entre els que han estat instruïts en música vocal o música folk respecte als que han estat instruïts amb instruments musicals “occidentals” (Deutsch, 2014).

Com hem vist, la formació musical afavoreix el desenvolupament de l'OA, si bé aquesta condició no és suficient, ja que sinó no es podria explicar l'existència de posseïdors d'OA que no han rebut mai una instrucció musical (Loui, 2014).

2.5.6 Habilitats de l'OA transferides a altres camps

Una altra qüestió interessant, tot i que no hi ha gaires publicacions al respecte, és la transferència d'habilitats de l'OA a altres competències. Es sap que posseïdors d'OA obtenen millors resultats en proves de seqüències de números (*digit span*), on el subjecte memoritza sèries de dígit de cada cop major llargada

presentades com un estímul auditiu (i no visual). Això suggereix que la possessió d'OA podria generalitzar una major capacitat de memòria de treball en altres dominis auditius no musicals (Loui, 2014).

Altres estudis han investigat la transferència d'habilitats de l'OA a dominis lingüístics, relacionats amb el processament lexico-semàntic, doncs presenten característiques comunes com l'edat del període crític (Deutsch et al., 2004). Per investigar les correlacions neuronals que podrien compartir-se en processos de percepció de la parla i de l'OA, s'han utilitzat tècniques de neuroimatgeria, tot i que encara no hi ha resultats clars al respecte.

2.6 Correlacions neuronals de l'OA

Degut al debat entre la influència congènita de l'OA i els rols de l'aprenentatge musical durant el seu desenvolupament, la recerca científica en el camp de l'OA s'ha proposat abordar les correlacions neuronals de l'OA.

Tal com diu Loui (2014), cal entendre, però, que trobar correlacions neuronals en l'OA no assegura que aquest factor sigui innat. És més, la tesi de la neuroplasticitat, validada per la majoria d'estudis en neurologia, afirma que l'experiència pot modelar el cervell quant a estructura (neuroplasticitat estructural) i també quant a funció (neuroplasticitat funcional).

Ara bé, estudiar les bases neurològiques de l'OA aportaria llum a entendre, poc a poc, els processos cognitius que contribueixen la possessió d'OA.

Un aspecte a destacar en aquest àmbit és la heterogeneïtat dels resultats obtinguts últimament. Per una banda, el nombre de subjectes analitzats en cada estudi és molt important, ja que si la mostra és reduïda el poder estadístic dels resultats és baix i sovint pot comportar "falses conclusions". Per altra banda, les característiques dels subjectes també poden determinar els resultats. Està demostrat que l'entrenament musical pot influenciar en el desenvolupament del cervell i per tant, a l'hora de realitzar proves experimentals, és convenient agrupar els subjectes segons l'experiència musical. Altres factors a tenir en compte serien comptar amb una població equitativa quant al sexe, i fins i tot l'ètnia.

Finalment, el que segurament explicaria les diferències en els resultats obtinguts seria la diversitat de mètodes i paradigmes utilitzats en els diversos experiments (Burkhard et al., 2020).

2.6.1 Processament de l'OA i l'OR al cervell

Si bé en els últims anys hi ha hagut un increment de recerca de l'OA en el camp de la neurociència, només s'ha identificat una part dels mecanismes que formen l'OA. El model més comú i didàctic per explicar la manera en que els individus processen els tons sosté que les persones amb OA tenen un “marc fix” o “estable” a la seva memòria en el qual estan permanentment representades les categories estretament definides per cada to i la seva corresponent etiqueta significativa. Aquest “marc” els permet anomenar els tons sense menester un to de referència extern. En canvi, els individus amb OR presenten un “marc mòbil” en el qual estan representades les relacions entre diferents tons, les diferents notes de l'escala musical. En comptes d'associar una etiqueta significativa a un to aïllat concret, són capaços d'identificar intervals. Per tant, per identificar un to aïllat, necessitarien comparar-lo amb un altre i establir-hi una relació d'interval (Bischoff Renninger et al., 2003).

Podem observar que la memòria és un component important en aquesta funció cognitiva. Per tal d'entendre millor el processament de l'OA, vegem doncs en què consisteix la memòria i els tipus que n'existeixen.

2.6.1.1 La memòria

Per començar, la memòria és la funció cognitiva que ens permet codificar, emmagatzemar i recuperar una informació o un succés concret. Aquest és un procés molt complex, en el qual hi intervenen diversos processos neuronals interconnectats, que no resideixen únicament en un lloc del cervell. Segons la teoria del “multiemmagatzematge” de la memòria, podem dividir-la en tres tipus ben diferenciats:

Memòria sensorial: és la memòria caracteritzada per emmagatzemar la informació sensorial durant un temps molt breu (uns 250 mil·lisegons). La

memòria sensorial, que funciona de manera espontània i automàtica , és necessària perquè el sistema perceptiu pugui processar l'estímul d'entrada, procés que té lloc a les àrees sensorials primàries de cada modalitat sensorial. La seva informació pot desaparèixer o ser transferida al següent nivell, la memòria de curt termini (Vilallonga et al., 2012).

Memòria a curt termini: és un sistema intermedi de memòria en el qual la informació es reté durant aproximadament 20 segons. La informació es codifica ràpidament en les àrees sensorials primàries; s'analitza, s'interpreta i s'organitza per un emmagatzematge posterior o bé es descarta (Fernández et al., 2010).

Un dels models de la memòria a curt termini és la memòria de treball. Aquest proposa que existeix una manipulació activa de la informació, per mitjà de l'emmagatzematge de la informació procedent de diverses fonts sensorials, durant un període de temps curt, mentre s'elabora una estratègia de resposta (Vilallonga et al., 2012). El model de memòria de treball de Baddeley i Hitch proposa l'existència de dos “magatzems” d'informació (el bucle fonològic i el registre visuoespacial) i d'un executiu central que els coordina. Es creu que la xarxa neuronal que actua en aquest procés es troba distribuïda entre l'escorça prefrontal, l'escorça parietal i la part anterior de la circumvolució del cíngol (Figura 23).

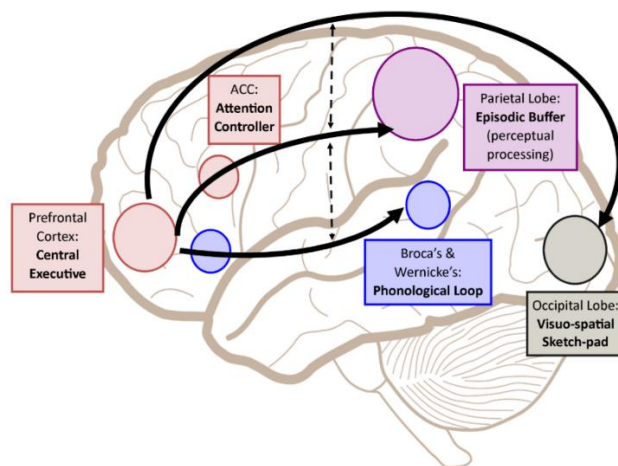


Figura 23 Representació simplificada del model de la memòria de treball de Baddeley i Hitch. El còrtex prefrontal exerceix el rol de control central; la circumvolució del cíngol (en anglès ACC) s'encarrega del control de l'atenció; el lòbul parietal intervé en el processament perceptiu; les àrees de Broca i de Wernicke duen a terme el bucle fonològic (emmagatzematge temporal de la informació rebuda, i el posterior manteniment d'aquesta informació a la memòria mitjançant el seu repàs continu); el lòbul occipital duu a terme el registre visuoespacial (manteniment de la informació visuoespacial rebuda). Font: (Chai et al., 2018).

Aquestes són les diferents parts principals implicades i els seus respectius rols, tot i que estudis més recents han detectat que regions subcorticals com el cerebel i el mesencèfal també s'hi veuen implicades (Chai et al., 2018):

- a. Escorça o còrtex prefrontal: exerceix el rol de control central de la memòria de treball.
- b. Circumvolució del cíngol: s'encarrega del control de l'atenció
- c. Lòbul parietal: intervé en l'emmagatzematge episòdic (integració d'informació provinent de diverses fonts sensorials i creació d'una representació multimodal i temporal de la situació)
- d. Àrees de Broca i de Wernicke: duen a terme el bucle fonològic, sobretot en funcions com el llenguatge (emmagatzematge temporal de la informació rebuda, i el posterior manteniment d'aquesta informació a la memòria mitjançant el seu repàs articulat continu).
- e. Lòbul occipital: duu a terme el registre visuoespacial (similar al bucle fonològic però per al manteniment de la informació visuoespacial).

Memòria a llarg termini: actua com una gran “base de dades”, de capacitat d'emmagatzematge il·limitada, on la informació es pot mantenir durant llargs períodes - hores, dies o anys (Fernández et al., 2010). En podem distingir dos tipus (Figura 24):

- f. Memòria procedimental: és un tipus memòria a llarg termini que s'emmagatzema de manera inconscient i que s'evoca automàticament. Sovint s'anomena memòria implícita (la sinonímia no està actualment acceptada per alguns autors), i inclou les habilitats motores i el condicionament; tasques com conduir un cotxe o anar amb bicicleta no serien possibles sense aquesta. Les regions implicades en aquest tipus de memòria són els nuclis basals, el cerebel i el neocòrtex (Vilallonga et al., 2012).
- g. Memòria declarativa: tipus de memòria a llarg termini que s'evoca de manera voluntària i conscient (Vilallonga et al., 2012). Les estructures cerebrals implicades més directament en la memòria declarativa són l'hipocamp i el neocòrtex cerebral (vegeu 2.4.2.4).

S'anomena també memòria explícita (la sinonímia no està actualment acceptada per alguns autors), i ahora es divideix en:

- i. Memòria episòdica: està subjecta a paràmetres espaciotemporals, és a dir, emmagatzema les nostres experiències personals passades associades amb un context temporal, geogràfic o circumstancial particular.
- ii. Memòria semàntica: fa referència al nostre coneixement dels objectes i fets que conformen el món, i del significat de les paraules.

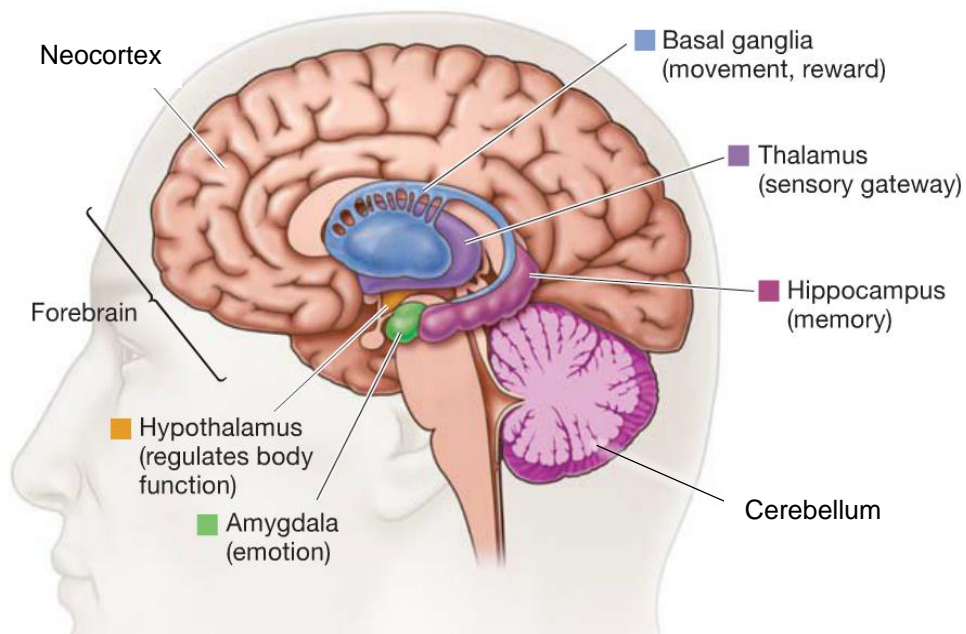


Figura 24 Regions implicades en la memòria a llarg termini: neocòrtex, en la memòria procedimental i la memòria declarativa; nuclis basals (en anglès basal ganglia), en la memòria procedimental; cerebel (en anglès cerebellum), en la memòria procedimental; i l'hipocamp (en anglès hippocampus), en la memòria declarativa. Font: <https://www.quora.com/>.

2.6.1.2 El model dels dos components

Ara, doncs, podem tornar al processament dels tons. Varis estudis neurofisiològics han trobat diferències entre subjectes amb OA i sense OA, i convergeixen a recalcar els dos components de l'OA (vegeu 2.2): la percepció i una codificació primerenca de la informació tonal en categories (o cromes) estretament definides per cada to (en referència a l'espectre sonor), i l'associació d'aquestes categories amb una etiqueta significativa, que assenyalava ser el

resultat d'una associació apresada. Tal com diu el model dels dos components, es sap que existeix una associació entre to i etiqueta significativa en els individus amb OA (Levitin, 1994). Ara bé, on es duen a terme cada un dels components i quins són els mecanismes neurològics que permeten aquesta associació? Diferents tècniques s'han emprat per treure l'entrellat d'aquests mecanismes.

2.6.2 Imatgeria per ressonància magnètica i TEP

Els primers estudis l'àmbit neurofisiològic de l'OA ja van denotar canvis en les regions sensorials auditives i en regions superiors dedicades a la cognició.

Quant a les regions sensorials auditives, des d'un principi es van detectar canvis en el gir de Heschl (GH) i en el planum temporale (PT), una regió situada just després del gir de Heschl, al pla temporal superior (vegeu 2.4.2.4). Els canvis detectats no eren sinó una asimetria entre hemisferis en el PT. En un principi, es pensava que el PT esquerre era més gran que el dret en l'OA, però poc després es va proposar que aquesta asimetria no ve donada per un major PT en l'hemisferi esquerre sinó per un PT reduït en el dret (Keenan et al., 2001).

Pel que fa a les regions superiors, dedicades a la cognició, hi ha evidències de canvis funcionals en el solc temporal superior (STS), el gir frontal inferior (GFI) i l'àrea dorsolateral del còrtex prefrontal (en anglès, DLPFC), tot i que la funció d'alguna d'aquestes regions presenta controvèrsies (Leipold, Greber, & Elmer, 2019).

En un estudi dut a terme per Leipold, Brauchli, et al. (2019) es va utilitzar la imatgeria per ressonància magnètica (IRM) i la tomografia per emissió de positrons (TEP, PET en anglès) per investigar la neurofisiologia de l'OA. L'IRM és una prova en què es fan servir un potent imant i ones de ràdio per poder visualitzar amb detall estructures internes del nostre cos. A diferència de les radiografies i de la tomografia computada, fa servir imants i ones de ràdio, és a dir, no utilitza raigs X ni elements radioactius; els senyals del camp magnètic que es generen reboten al cos i cada tipus de teixit torna senyals diferents que una computadora recull i converteix en imatges. La TEP és una tècnica que consisteix en administrar una substància radioactiva a l'organisme (radioisòtop emissor de

positrons), en aquest cas una petita quantitat de glucosa radioactiva, per obtenir imatges de les àrees de l'organisme que absorbeixen aquesta substància (Vilallonga et al., 2012). En l'anàlisi obtingut mitjançant aquestes tècniques, es van utilitzar procediments com el model lineal general – molt útil a l'hora de comparar com afecten diverses variables sobre una variable contínua, però a gran escala – i l'anàlisi multivariada del patró – molt més sensible a informació detectable a escala petita.

Per tal de comparar músics amb i sense OA, Leipold, Brauchli, et al. (2019) van dissenyar dos tasques experimentals per estudiar el processament dels tons ambdós grups durant l'etiquetatge d'aquests tons i també durant l'escolta, ja que segons la literatura en aquesta matèria, els individus amb OA etiquetarien també els tons durant tasques d'escolta passiva, és a dir, de manera automàtica.

Pel seu esmentat rol en la literatura tant en el processament de l'OA com en el de l'OR, en aquesta investigació es van proposar les següents regions d'interès: el gir frontal inferior dret (GFI), l'àrea dorsolateral del còrtex prefrontal esquerre (en anglès *dorsolateral prefrontal cortex*, DLPFC), el planum temporale esquerre i dret (PT) i el gir de Heschl també bilateralment (GH).

2.6.2.1 Gir frontal inferior (GFI)

Durant l'etiquetatge dels tons, Leipold, Brauchli, et al. (2019) van trobar en el seu estudi una forta activació de dues zones frontals: el GFI, implicada en la memòria de treball, i l'àrea motora presuplementària (pre-AMS), involucrada en el llenguatge, en l'OR i no en l'OA. En comparació amb l'escolta passiva, durant l'etiquetatge dels tons les diferències entre ambdós grups (músics amb i sense OA) eren més notòries, doncs els individus amb OA suposadament etiqueten els tons de manera automàtica (vegeu 2.6.3.2), amb una menor implicació de la memòria de treball.

El gir frontal inferior (GFI) és la regió on arriba la informació provinent del còrtex auditiu, a través de la via ventral. El GFI ha estat associat amb les funcions de memòria de treball auditives. Leipold, Brauchli, et al. (2019) van detectar un senyal dependent del nivell d'oxigen a la sang augmentat en el GFI bilateralment en els músics amb OR. El senyal dependent del nivell d'oxigen a la sang (senyal

BOLD), obtingut mitjançant la TEP, està correlacionat amb el grau d'activitat de les regions cerebrals i es fa servir per a estudiar-ne les funcions (Vilallonga et al., 2012). L'augment bilateral del senyal BOLD en el GFI, però, no es va observar en els músics amb OA, tot i que sí que es va detectar una activació de la zona. És possible, doncs, que l'increment en el GFI reflecteixi un major ús de la memòria de treball tonal en els individus amb OR, ja que la memòria de treball és essencial per a comparar un to amb un altre i establir-hi una relació d'interval. La troballa concorda amb estudis de TEP fets prèviament, on s'havia detectat un augment del flux sanguini cerebral en el GFI dels músics amb OR mentre etiquetaven intervals musicals. És més, en estudis electrofisiològics a través dels quals es van investigar els Potencials Evocats (PE) també es va comprovar una actualització de la memòria de treball en els músics amb OR i la inexistència o minsa existència d'aquesta actualització en els músics amb OA (Loui, 2014).

El GFI, a part d'estar implicat en la memòria de treball, també ha estat associat a funcions del llenguatge. Sense anar més lluny, a l'hemisferi esquerre les àrees 44 i 45 de Brodmann (pars opercularis i pars triangularis, respectivament) corresponen a l'àrea de Broca (Figura 25), una regió implicada en l'acte de parla i en la percepció d'aquesta.

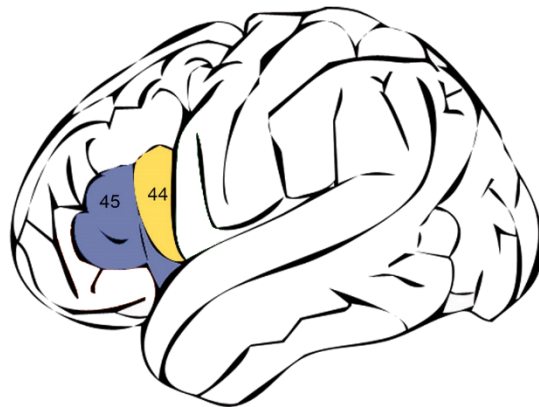


Figura 25 Àrees 44 i 45 de Brodmann (pars opercularis i pars triangularis, respectivament), situades a l'hemisferi esquerre. Aquestes dos àrees conformen l'àrea de Broca. Font: <https://www.lifeder.com/>.

A l'hemisferi dret, el GFI està lligat a la percepció de la prosòdia, és a dir, als canvis en la parla (pronunciació, entonació, ritme, intensitat, etc.). Per tant, l'augment del senyal BOLD detectat bilateralment en el GFI en músics amb OR (Leipold, Brauchli, et al., 2019) podria reflectir processos relacionats amb el

llenguatge, com per exemple una estratègia d'etiquetatge de tons que impliqués l'articulació encoberta de les etiquetes (imaginar la paraula sense arribar a articular-la). Contràriament, sembla que els músics amb OA no necessitarien aquesta codificació verbal per completar la tasca d'etiquetatge i, curiosament, tot i no utilitzar la codificació verbal, ho fan exitosament.

2.6.2.2 Àrea motora presuplementària (pre-AMS)

De manera anàloga al GFI, la pre-AMS va mostrar diferències en el senyal BOLD entre músics amb i sense OA, essent incrementat en els músics amb OR. La pre-AMS, que forma part del gir frontal superior, està connectada amb el GFI a través del tracte oblic frontal (Figura 26) i ha estat també involucrada en la producció i processament de la parla. Concretament, aquesta zona proporciona la imatge auditiva, que fa referència a la generació d'informació auditiva sense que hi hagi un estímul sensorial, o també a la generació d'informació auditiva a més a més de la informació sensorial percebuda (p.ex. imaginar els tons escoltats amb anterioritat per determinar el to actual, en el cas de l'OR).

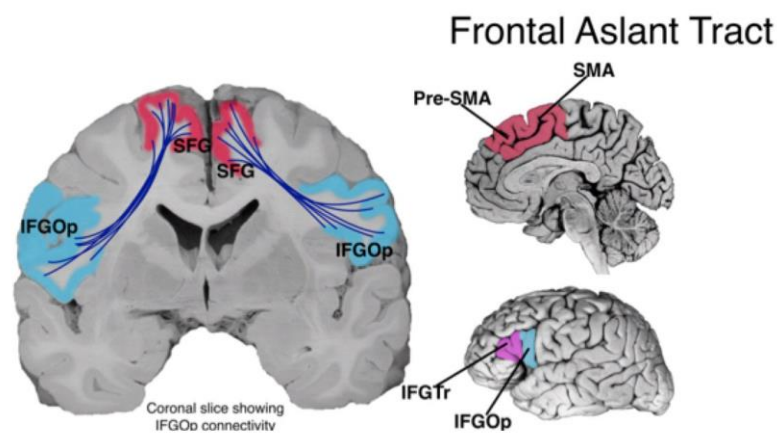


Figura 26 Representació del tracte oblic frontal, que uneix l'àrea motora presuplementària (en anglès, pre-SMA) i la l'àrea motora suplementària (SMA, en anglès) amb el GFI (àrea de Broca; pars opercularis i pars triangularis). Font: <https://www.biorxiv.org/>.

2.6.2.3 Àrea dorsolateral del còrtex prefrontal (DLPFC)

Les diferències entre músics amb i sense OA van ser més subtils durant l'escolta passiva (Leipold, Brauchli, et al., 2019). En els músics amb OA es va trobar una major activació en el planum temporale dret, possiblement reflectint un procés d'associació entre la informació sensorial percebuda amb l'etiqueta significativa

dels tons emmagatzemada a la memòria a llarg termini. I, contràriament a postulats anteriors, els resultats de Leipold, Brauchli, et al. (2019) no van recolzar la importància donada a la DLPFC en l'associació to-etiqueta significativa.

Al llarg de l'estudi dels mecanismes neuronals de l'OA, l'àrea dorsolateral del còrtex prefrontal (en anglès, DLPFC) ha tingut una importància especial. Aquesta zona està situada al còrtex prefrontal, una de les parts més evolucionades del sistema nerviós; una àrea d'associació multimodal de l'escorça cerebral que correspon a les àrees 9, 10, 11 i 12 de Brodmann, on hi tenen lloc els processos d'intencionalitat, judici, previsió, planificació... i també, com s'ha dit prèviament, el control de la memòria de treball. El còrtex prefrontal es divideix en: l'àrea dorsolateral, l'àrea orbitofrontal i l'àrea ventromedial (Vilallonga et al., 2012), vegeu Figura 27.

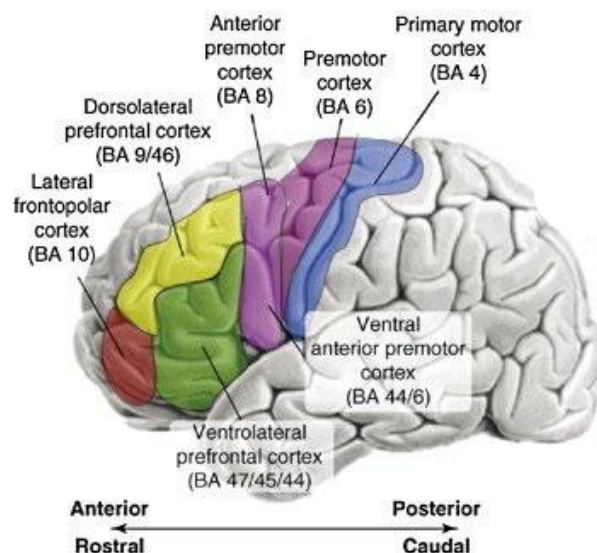


Figura 27 Parts del còrtex prefrontal. En groc, l'àrea dorsolateral del còrtex prefrontal. Font: www.quora.com.

En alguns estudis de TEP, durant la identificació de tons aïllats, es va veure una forta activació del flux cerebral de la DLPFC esquerra en individus amb l'OA. Durant la identificació d'interval, els individus amb OA mostraven activació d'aquesta regió, i també ho mostraven, juntament amb una forta activació del GFI, els individus amb OR. Com que l'àrea dorsolateral del còrtex prefrontal és la part "cognitiva" de l'escorça prefrontal i està implicada en dur a terme

associacions apreses, es va suggerir que aquesta regió representés l'associació entre un to i la seva etiqueta significativa en l'OA (Deutsch, 2014).

Tanmateix, Leipold, Brauchli, et al. (2019) no van observar en el seu estudi una activació més forta de la DLPFC durant l'escolta passiva en els individus amb OA, però sí que van detectar un alt senyal BOLD bilateralment en la DLPFC en músics amb i sense OA durant l'etiquetatge de tons, juntament amb un increment del senyal BOLD en el solc intraparietal (SIP). Aquestes dues àrees (DLPFC i SIP) formen part d'una xarxa lligada amb la memòria associativa – l'evocació de la memòria d'una informació emmagatzemada a causa d'un estímul al qual està associada (Vilallonga et al., 2012) – i el control de l'atenció voluntària (Figura 28). A més, el SIP està involucrat en processos d'integració multimodal. Consegüentment, és probable que la DLPFC estigui lligada amb processos de memòria associativa o bé d'atenció, i no directament en l'associació to-etiqueta significativa (Brauchli, 2019). No obstant, encara no es sap del cert.

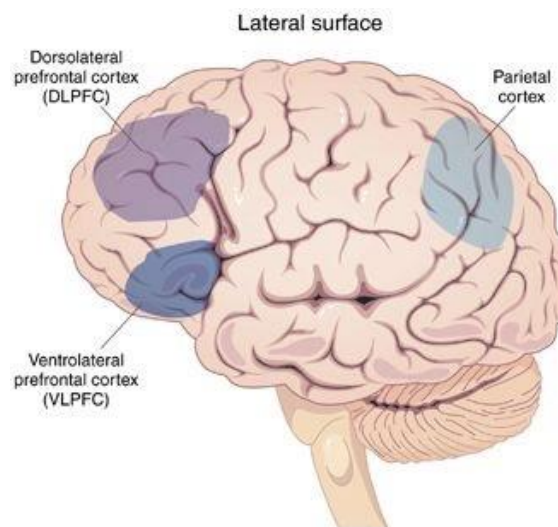


Figura 28 Vista d'algunes regions implicades en el control de l'atenció voluntària, entre les quals es troben la DLPFC i el SIP Font: www.nature.com.

2.6.2.4 Planum temporale (PT)

Durant l'escolta passiva, els músics amb OA van mostrar un augment del senyal BOLD al planum temporale dret, comparat amb els individus amb OR, tot i que aquest increment era molt subtil depenent de la tècnica d'anàlisi utilitzada (Leipold, Brauchli, et al., 2019).

El planum temporale, una regió situada al pla temporal superior just després del gir de Heschl (vegeu la Figura 17), ha estat associat des d'un bon principi al processament de l'OA. Es va detectar una asimetria interhemisfèrica en aquesta regió, es va proposant que ve donada per un planum temporale reduït en l'hemisferi dret (Keenan et al., 2001). En el processament auditiu en general, s'ha proposat que el PT relaciona la informació auditiva que es percep amb informació que es troba emmagatzemada en altres àrees.

Leipold, Brauchli, et al. (2019) van proposar en el seu estudi que, al detectar un major senyal BOLD en el PT de l'hemisferi dret (hemisferi que té especial importància en el processament de l'espectre sonor) i tenint en compte el model dels dos components de l'OA (Levitin, 1994), el PT podria ser la regió on es duu a terme l'associació dels tons amb la seva etiqueta significativa, emmagatzemada a la memòria a llarg termini. És més, el lloc on s'emmagatzemaria la representació dels tons a llarg termini podrien ser regions properes, les àrees anteriors del lòbul temporal dret, que s'han vist implicades en la memòria semàntica. Ara bé, tot i que nombrosos estudis han detectat la importància del PT, la seva funcionalitat en l'OA és de moment especulativa i hi ha controvèrsies sobre l'hemisferi predominant.

2.6.2.5 *El gir de Heschl (GH)*

Estudis del GH en músics amb OA han detectat un increment en el volum del GH dret en comparació amb músics sense OA, tot i que podria ser que aquestes diferències de volum succeïssin a causa de considerar regions *belt* (vegeu Figura 19) com part del GH. Altres estudis anteriors havien mostrat que la regió del GH que correspon a l'àrea A1 (vegeu Figura 18), aproximadament, és més gran en ambdós hemisferis en els músics amb OA que en els músics sense OA. Un GH més gran i un reduït PT en l'hemisferi dret conduirien a pensar que els músics amb OA no tenen un volum cortical més gran que la resta sinó una redistribució d'aquest volum (Wengenroth et al., 2014).

McKetton et al. (2019), també utilitzant IMR, van estudiar el GH, centrant l'atenció en els gradients tonotòpics (vegeu 2.4.2.4) que presenta aquesta regió auditiva primària. Inicialment, havien formulat la següent hipòtesi: els individus amb OA manifestarien en el còrtex auditiu una selectivitat de freqüències – el rang de

freqüències al qual responen les poblacions neuronals – més estreta. Els autors basaven la hipòtesi en estudis previs on s'havia detectat que aquest rang de freqüències captades i processades és més estret en l'àrea auditiva primària, tant en primats no humans com en humans, mentre que en les regions *belt* i *parabelt*, la selectivitat de freqüències és més àmplia (Moerel et al., 2014).

No obstant, els resultats de McKetton et al. (2019) van detectar que els mapes tonotòpics de les regions A1, R i RT mostraven una amplitud del gradient tonotòpic més gran, essent més ampli en l'A1 era la més gran i decreixent cap a les zones R i RT.

A més a més, McKetton et al. (2019) van observar que els músics amb OA tenien les regions del GH A1, R i RT notòriament més grans que els músics amb OR. Com que en l'A1 i l'R aquest augment de volum es feia palès juntament amb una implicació d'un major nombre de poblacions neuronals durant el processament dels sons, els autors van concloure que l'habilitat de l'OA està associada a un augment de volum de les àrees auditives primàries, que alhora comporta un augment de la selectivitat de freqüències.

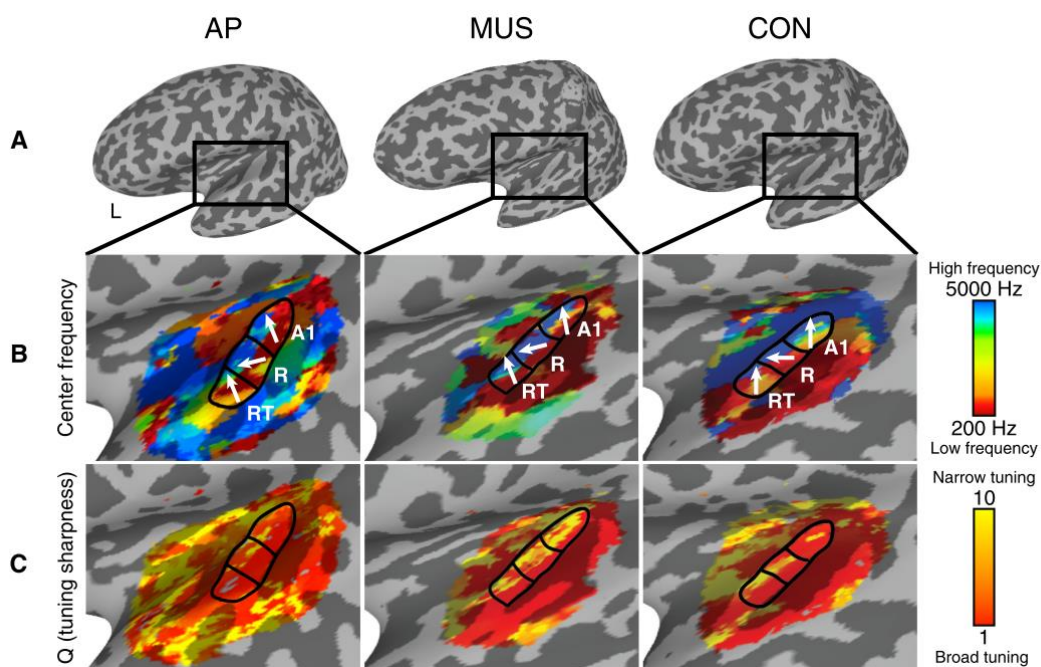


Figura 29 **Mapes tonotòpics del GH.** A dalt, els grups estudiats: AP, músics amb OA; MUS, músics sense OA; CON, subjectes sense instrucció musical. A l'esquerra: **A**, superfície de l'hemisferi dret mostrada. **B**, zones A1, R i RT del GH amb els seus mapes tonotòpics respectius; les fletxes blanques indiquen la direcció del gradient tonotòpic (greu-agut). **C**, amplitud del rang de freqüències captades (taronja = ample, groc = estret). Font: McKetton et al. (2019).

2.6.3 Electroencefalografia

L'activitat elèctrica que es produeix al cervell és també molt rellevant en la investigació de l'OA. Per estudiar-la, es fan servir tècniques d'electroencefalografia, és a dir, tècniques no invasives que mitjançant elèctrodes poden obtenir enregistraments gràfics de l'activitat elèctrica de l'escorça cerebral al llarg d'un període de temps determinat, els anomenats encefalogrames.

L'activitat elèctrica cerebral depèn de l'activitat mental que es duu a terme en aquell moment (tasques actives, dormir, tasques passives, etc.). És per això que en els encefalogrames es poden trobar diversos ritmes d'activitat cerebral, diferents quant a amplitud i diferència de les seves ones (Grabulosa et al., 2016). Podem trobar (Figura 30):

- A. Ritme alfa: de 12 a 35 cps (cicles per segon). Generalment es localitza en les àrees premotores i sensibles del cervell i les seves oscil·lacions s'han associat amb la percepció de la música, la imatgeria i la sintaxis.
- B. Ritme beta: de 8 a 12 cps. Predomina en la regió occipital i apareix quan el subjecte té un estat mental de repòs. Aquest ritme de freqüències s'ha associat amb algunes funcions cognitives del processament de la música i la parla com la memòria auditiva, la integració auditiva-motora i el processament sintàctic.
- C. Ritme theta: de 4 a 8 cps. Es troba sobretot en les regions occipital i temporal. Durant el son és habitual la seva presència, tant en infants com en adults. També s'ha associat la seva presència amb la memòria de treball present en el processament de l'OA i l'OR.
- B. Ritme delta: menys de 4 cps. Gairebé sempre apareix només durant el son.





<p>Beta (14 - 30 Hz)</p> 	<p>Alfa (8-13.99 Hz)</p> 
<p>Theta (4 - 7.99 Hz)</p> 	<p>Delta (0.1 - 3.99 Hz)</p> 

Figura 30 Diferents ones d'activitat cerebral detectades en els encefalogrames (Alfa, Beta, Theta i Delta) i les seves respectives freqüències. Font: <http://www.ub.edu/>.

També són importants en l'estudi de l'OA els Potencials Evocats (PE) auditius, que són els canvis de potencial en les neurones, impulsos nerviosos, compresos entre un estímul sonor i la seva integració conscient a nivell del còrtex auditiu (resposta). Els PE, tal com veiem en la Figura 31, es poden classificar segons el temps de latència de la resposta neurològica.

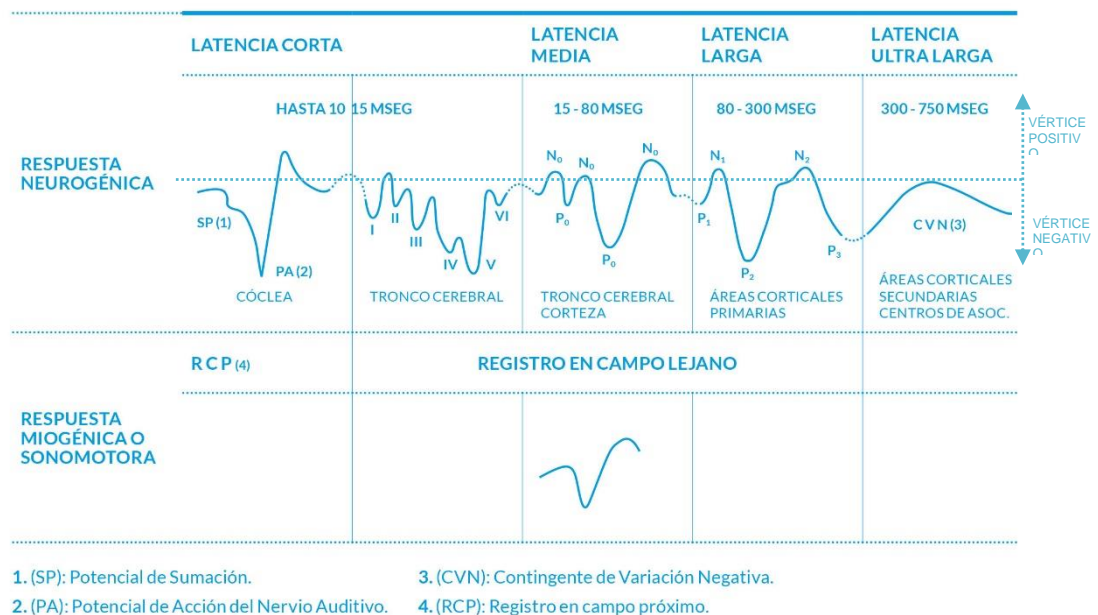


Figura 31 Potencials Evocats Auditius classificats segons la seva latència. Font: www.revistagacetaudio.es.

Així mateix, els Potencials Evocats també es poden dividir en PE exògens i PE endògens.

Exògens o sensorials: es capten abans dels 300 mil·lisegons succeïts després de l'estímul, i els creen les pròpies característiques físiques dels estímuls. Les seves variacions poden representar paràmetres de l'estímul com la intensitat o freqüència, per exemple. Per tant, proporcionen informació sobre el desenvolupament de les vies sensorials ascendents (Grabulosa et al., 2016). Poden ser de dos tipus:

- a. Potencials de latència curta (o potencials de tronc): canvis de potencial que succeeixen en els primers 50 ms després de l'inici de l'estímul; indiquen el processament de la informació en les vies auditives que passen pel tronc encefàlic.
- b. Potencials de latència tardana: se'n distingeixen uns quants, entre els quals:
 - i. N100: és una ona negativa que sol tenir el pic al voltant dels 100 ms després de la presentació de l'estímul. S'observa quan es presenta un estímul no freqüent, inesperat; reflecteix un procés de buscar una correspondència amb els estímuls prèviament presentats.
 - ii. P200: és una ona positiva que sol tenir el pic al voltant dels 200 ms després de la presentació de l'estímul. Igual que l'N1, reflecteix la codificació de l'estímul.

Endògens o cognitius: s'usen per a l'estudi de la percepció, la memòria o l'atenció, ja que la seva variació depèn de factors com ara l'estat del subjecte, la tasca que assignada en relació amb els estímuls emprats per a l'enregistrament, el valor informatiu que tenen els estímuls, etc. (Grabulosa et al., 2016). Es detecten generalment mitjançant el paradigma "oddball", en el qual es presenta un to freqüent (patró, 90%) i uns tons no tant freqüents (desviant, 10%), és a dir, canvis en el patró auditiu. Aquests canvis poden produir dos components dels PE endògens, que són proporcionals quant a magnitud com més gran és la desviació del to no freqüent:

- c. La *mismatch negativity* (MMN) o Potencial de Disparitat: subcomponent de l'N200 (o N2) que serveix per avaluar la capacitat automàtica de detectar canvis en les característiques físiques de l'estímul quan no s'hi para atenció. El mecanisme es basa en la

formació d'una representació neuronal a la memòria sensorial (escorça sensorial primària) de les característiques físiques de l'estímul repetit. A partir d'aquesta representació es comparen els nous estímuls de manera que si coincideixen, el potencial es manté i, si per contra no ho fa, es genera el potencial de disparitat – una desviació negativa de l'ona captada que assoleix el seu pic entre els 100 i 250 ms després de l'inici de l'estímul. Per enregistrar-lo, es presenta el paradigma “oddball” i es demana al subjecte que centri l'atenció a una altra tasca (Grabulosa et al., 2016).

- d. El P300: més enllà de l'OA, és el component dels PE que ha donat peu a més recerca sobre diversos trastorns mentals (esquizofrènia, dependència a l'alcohol, a la nicotina...). Aquest PE endogen que assoleix el seu pic al voltant dels 300 ms després de l'inici de l'estímul, indicia la capacitat de discriminació dels estímuls auditius, estudiada mitjançant el paradigma “oddball” (Sur & Sinha, 2009). A l'hora, se'n poden distingir dos subcomponents:
 - i. El P3a: és una desviació positiva de l'ona captada que generalment succeeix immediatament després a la MMN (Figura 33). Es creu que aquesta desviació reflecteix processos d'atenció conscient inicials en el processament auditiu.
 - ii. El P3b: és una desviació positiva de l'ona que es veu implicada amb els processos psicològics d'actualització de la memòria de treball (Greber et al., 2018).

També s'ha vist implicat en l'OA el component N400:

- e. N400: és una ona negativa que succeeix al voltant dels 400 ms després de l'estímul i està relacionat amb funcions mnemotècniques. També reflecteix una incongruència semàntica (Sur & Sinha, 2009).

2.6.3.1 La percepció i categorització dels tons

Els PE són molt útils, com ja s'ha dit abans, per reflectir la codificació dels tons (que tindria lloc en el N100 i P200), la seva categorització o classificació (durant el N200), i les funcions mnemotècniques (que succeïrien en el N400). Estudis sobre aquests PE exògens han detectat una major amplitud de l'N100 en l'OA

durant la identificació dels tons. No obstant, és difícil comparar tots els estudis realitzats, doncs difereixen en molts aspectes com ara els paradigmes utilitzats, les característiques dels subjectes i les tècniques d'anàlisi de dades. També seria plausible que aquesta major amplitud de N100 estigués influenciada per l'atenció o altres processos cognitius relacionats amb el tipus de tasca demanada.

En base a aquestes dades, Burkhard et al. (2019) van formular la hipòtesi que les diferències en un processament tonal inicial, detectades entre l'OA i l'OR, s'observarien en el N100 i P200 (i les àrees relacionades a aquests), mentre que les diferències en la cognició i el processament dels tons succeïrien més tard, en el N200 i/o l'N400 (i les seves respectives àrees implicades). En el seu estudi, Burkhard et al. (2019) van realitzar una prova experimental d'escolta en la qual es centrava l'atenció, sense complementar-la amb cap tasca cognitiva (com ho seria l'etiquetatge dels tons o la seva discriminació), a una mostra gran i equilibrada de músics amb i sense OA (n=103). Es va detectar una major amplitud d'ona en les regions N100 en els possessors d'OA, acompanyada d'una activació també major en les àrees del cervell que circumciden la cissura de Silvi (Figura 32) – en les quals s'inclouen el solc temporal superior (STS), el gir temporal mitjà (GTM) el gir de Heschl (GH) –, especialment en l'hemisferi dret. També es va observar una major activació de les regions del P200 en els possessors d'OA, tot i que no tan notòria com la de l'N100.

La literatura prèvia sobre l'OA menciona que les zones circumdants a la cissura de Silvi presenten una organització anatòmica i funcional diferent en els músics amb OA, tot i que no deixa clar si els dos hemisferis o bé un en particular hi estan especialment implicats. Tot i que Burkhard et al. (2019) van detectar una activació lleugerament major en l'hemisferi dret, l'activació es va fer palesa bilateralment, fet que indicaria que l'hemisferi dret s'activa automàticament en la categorització dels tons particularment en els individus amb OA. Aquesta hipòtesi concordaria amb la datació que l'hemisferi dret té molta importància en el processament de l'espectre sonor.

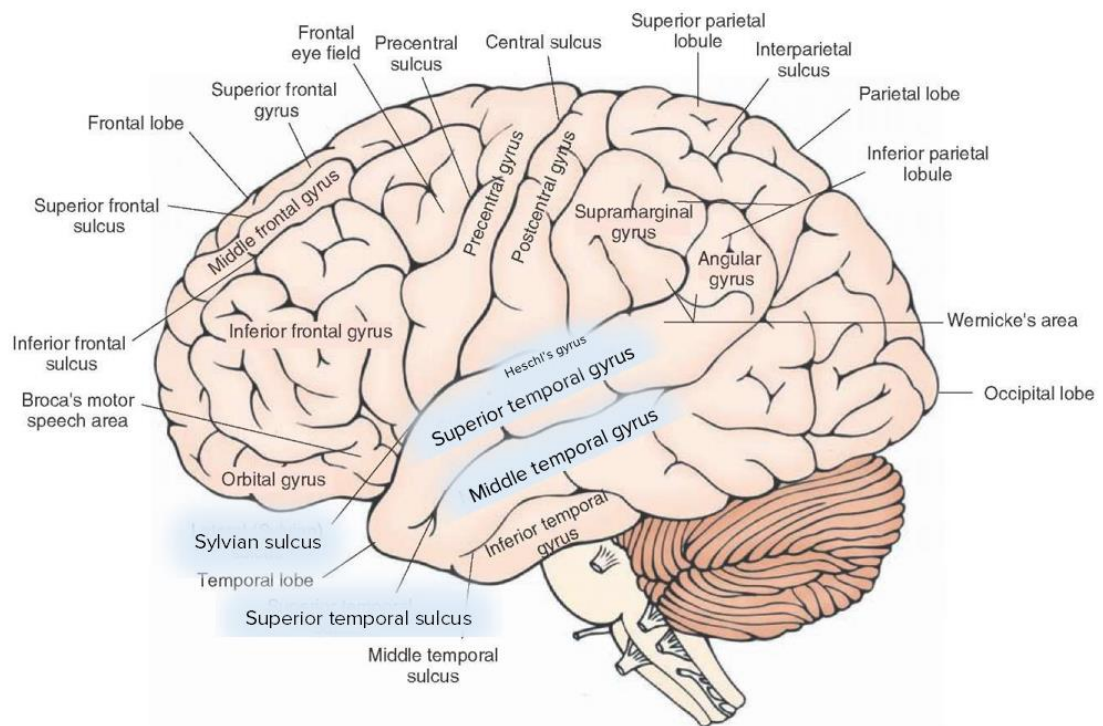


Figura 32 Àrees que circumciden la cissura de Silvi (Sylvian sulcus, en anglès) i es veuen implicades en la codificació inicial dels tons: solc temporal superior (superior temporal sulcus, en anglès), el gir temporal mitjà (middle temporal gyrus, en anglès) el gir de Heschl (Heschl's gyrus, en anglès).
Font: <http://what-when-how.com/>.

Quant a les zones fortament activades (STS, GTM i el GH), al llarg de l'estudi de l'OA i el cervell, s'ha vist que el STS controla majoritàriament els processos de codificació inicials presents en la categorització o classificació de la informació auditiva en els diferents tons. El GTM ha estat associat amb el processament multimodal, el processament lèxic i l'accés a les representacions dels tons guardades en la memòria semàntica. El GH – vegeu 2.6.2.5 – seria una estructura essencial en la percepció tonal de l'OA, doncs s'ha vist que té un volum més gran, i aquest increment està altament correlacionat amb el grau d'exactitud de l'OA.

En resum, s'ha descobert que el procés de categorització tonal en l'OA es duu a terme en les àrees que circumden la cissura de Silvi (STS, GTM i el GH), les àrees sensorials auditives, especialment les de l'hemisferi dret. Aquestes diferències es donen en una etapa inicial de la percepció dels tons, reflectides en l'N100, i no indicarien mecanismes d'etiquetatge sinó una categorització auditiva inicial més avançada en els músics amb OA (Burkhard et al., 2019).

Ara bé, cal remarcar que Burkhard et al. (2019) no van trobar diferències en etapes més tardanes del processament auditiu (possiblement reflectides en l'N200 o l'N400), que s'han cregut implicades en l'associació to-etiqueta significativa. Aquesta manca de diferències entre músics amb i sense OA va ser sorprenent, doncs l'associació del to amb la seva corresponent etiqueta és un tret característic i indispensable de l'OA. Consegüentment, els autors van proposar dues explicacions possibles: a) que els processos d'etiquetatge succeeixen molt aviat en el processament tonal i involucren les mencionades zones que circumciden la cissura de Silvi; b) que el procés d'etiquetatge no sigui completament automàtic sinó activat quan es requereix (vegeu 2.6.3.2).

2.6.3.2 La cognició dels tons

Seguint la línia d'altres estudis anteriors, Leipold, Greber, Sele, et al. (2019) van suggerir que el que realment diferencia el processament de l'OA i l'OR són els les etapes més tardanes associades a funcions cognitives superiors. És a dir, els processos inicials de percepció i categorització dels tons serien iguals tant per l'OA com per l'OR, doncs en aquesta etapa es percebrien les característiques acústiques dels estímuls auditius (p.ex. la intensitat).

La cognició de la informació auditiva té lloc en els Potencials Evocats auditius endògens, que succeeixen a partir dels 300 mil·lisegons després de l'inici de l'estímul. Gràcies a els PE endògens s'han pogut estudiar dues funcions cognitives superiors molt involucrades en l'OA: la memòria i l'atenció.

La memòria de treball

El P3b, component del P300, és una desviació positiva de l'ona captada en els PE en el mil·lisegon 300, aproximadament. El P3b es veu implicat en els processos psicològics d'actualitzar la memòria de treball (Bischoff Renninger et al., 2003). Així doncs, segons la menció en la literatura sobre l'OA i el fet que és menys dependent de la memòria de treball, els primers estudis en PE en relació amb l'OA van pressuposar que el P3b variaria entre els subjectes amb OA i els subjectes amb OR.

I efectivament, en un experiment en el qual es va utilitzar el paradigma "oddball" en la modalitat auditiva (on els estímuls eren tons purs de diferents freqüències)

i en la modalitat visual (on els estímuls eren lletres projectades en una pantalla), es van detectar diferències notables entre ambdues modalitats, i entre grups (individus amb i sense OA). Encara que els individus amb OA presentaven un P3b visual idèntic als possessors d'OR, el P3b auditu era notòriament reduït en els subjectes amb OA, inclús inexistent en alguns d'ells (Loui, 2014).

El P3b reduït o inexistent es va interpretar com un indicati que els músics amb OA no necessiten una actualització de la memòria de treball, perquè ja tenen unes representacions fixes per a cada to en la memòria a llarg termini (segons explica el model dels dos components). Amb tot, alguns estudis posteriors no van detectar aquest P3b reduït. Això succeeix a causa del tipus de tasca demanada, la dificultat de la tasca, l'estratègia emprada pel subjecte per resoldre la tasca, el nivell d'OA del subjecte, etc. (Greber et al., 2018).

És a dir, si bé els músics amb OA no requereixen fins a cert punt una actualització de la memòria de treball durant algunes tasques de processament auditu, sí que requereixen aquesta actualització en a tasques d'identificació de sons que poden resultar ambigües o complexes pels individus amb OA (p.ex. timbres o registres poc familiars). Per tant, l'OA no és tan dependent de la memòria de treball (Van Hedger et al., 2018).

L'atenció

Uns altres processos cognitius que també intervenen en l'OA però que no s'expliciten en el model dels dos components (l'ús de memòria a llarg termini pels tons i l'associació d'aquests a una etiqueta significativa) són els processos d'atenció. L'atenció és un procés cognitiu que permet seleccionar la informació i processar només algunes dades de totes les estimulacions sensorials que es reben (Fernández et al., 2010). En relació amb l'atenció, trobem que l'etiquetatge dels tons en l'OA és en part automàtic, involuntari, no es pot reprimir – tot i que pugui resultar fins i tot un desavantatge segons la tasca sol·licitada. Un exemple en serien les tasques de Stroop, unes proves cognitives en les quals es presenten interferències entre els estímuls i les respostes habituals, utilitzades per a estudiar la flexibilitat cognitiva i l'atenció selectiva (Vilallonga et al., 2012). En tasques que requereixen escoltar o cantar noms de tons que no corresponen a la seva freqüència correcta, els individus amb OA mostren pitjors resultats que

els que no posseïen OA. Els subjectes amb OA també presenten dificultats en un altre tipus de prova en la qual els participants han de comparar la notació musical mostrada amb la melodia tocada en un to diferent (Deutsch, 2014), o bé identificar el nom de la nota presentada visualment mentre es presenta un estímul auditiu que correspon a una altra freqüència (Leipold, Greber, Sele, et al., 2019). Ara bé, els individus amb OA no poden evitar aquesta confusió perquè l'OA es presenta com un procés automàtic.

Aquest automatisme s'ha investigat mitjançant els PE durant l'escolta activa però també durant la passiva. Un paradigma d'escolta passiva utilitzat molt sovint és l'"oddball", ja mencionat prèviament, en el qual es presenta un to freqüent (patró) i uns tons no tant freqüents (desviant), és a dir, canvis en el patró auditiu. Aquests canvis creen els dos components dels PE, també explicats amb anterioritat: la *mismatch negativity* (MMN) o Potencial de Disparitat i el P3a.

La MMN està associada amb la memòria de treball, i es creu que representa un processament inconscient de l'estímul abans que l'atenció s'hi centri de manera conscient, això és, de manera automàtica, abans de la cognició. El P3a, en canvi, és una desviació positiva que generalment succeeix immediatament després a la MMN (

Figura 33). Es creu que aquesta darrera desviació reflecteix processos d'atenció inicials en el processament auditiu.

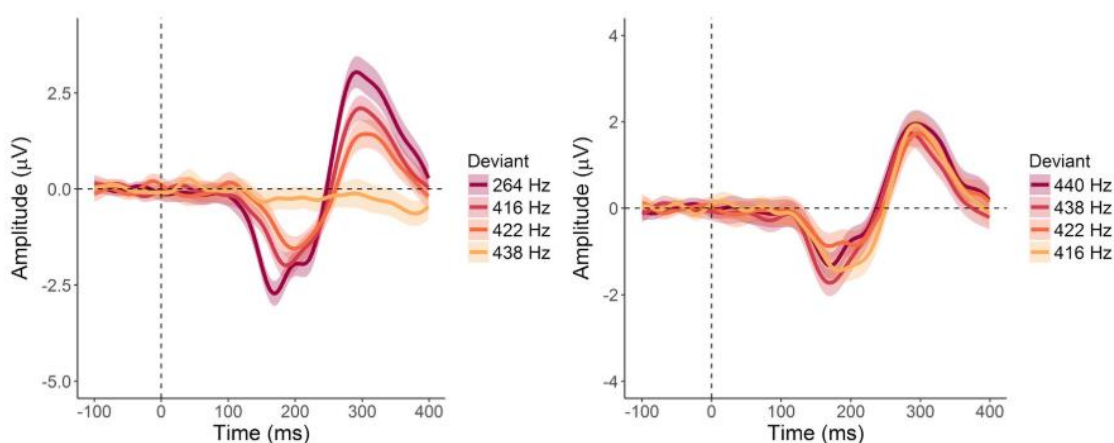


Figura 33 PE obtinguts mitjançant l'enregistrament d'electroencefalografia en el paradigma "Oddball". Les ones obtingudes mostren la MMN (desviació negativa de l'ona, al principi) i el P3a (desviació positiva de l'ona, al final), activats per un to infreqüent (desviant). Tal com indiquen les llegendes, es pot observar que com més distant és el desviant, l'amplitud de l'ona registrada als PRE és major. Font: Greber et al. (2018).

Estudis sobre aquests dos components havien detectat, per una banda, una menor amplitud de P3a en músics amb OA en comparació amb músics sense OA (només quan els tons no freqüents es desviaven més d'un semitò) i, per l'altra, cap diferència de MMN entre els dos grups. Com que els músics amb OA presentaven un P3a reduït, els autors dels estudis van concloure en que els músics amb OA també processen els tons de manera més eficient que els individus amb OR quan no els escolten de manera activa. És a dir, hi hauria algun tipus de cognició inicial facilitada, o d'eficiència neuronal, en els individus amb OA, que seria més important que els anteriors processos de percepció sensorial que tenen lloc abans de la cognició.

Tanmateix, en un estudi posterior realitzat per Greber et al. (2018) que pretenia replicar els mateixos procediments per reafirmar els resultats, es va repetir l'absència de diferències entre grups (individus amb OA i individus sense OA) quant a MMN, però, contràriament, no es van trobar tampoc diferències de P3a.

Consegüentment, Greber et al. (2018) no van rebatre la importància de les funcions cognitives superiors sinó que van suggerir que, o bé les diferències de processament tonal en l'escolta passiva són massa subtils per poder-se detectar amb els PE endògens, o bé que l'etiquetatge dels tons només s'inicia en escoltar de manera activa els estímuls auditius, quan s'hi centra l'atenció.

És a dir, Greber et al. (2018) van proposar que, tot i que els músics amb OA poden etiquetar els tons ràpidament i sense esforç, no ho fan necessàriament sempre. Ho va comprovar realitzant una prova que demanava als participants centrar l'atenció en una pel·lícula muda tot ignorant estímuls auditius que es presentaven simultàniament a aquesta.

A part del tipus de prova realitzada, també cal tenir en compte que altres factors com la fatiga o l'estrès poden influenciar en l'acompliment de tasques d'etiquetatge de tons, així com en el grau d'automatisme. A més a més, és plausible que ja d'entrada hi hagi diferències considerables entre individus en el nivell d'automatisme de l'OA.

Un altre estudi que es va centrar en el rol de l'atenció en el processament dels tons de l'OA va ser el realitzat per Leipold, Greber, Sele, et al. (2019). Seguint la línia d'estudis anteriors, els autors van formular la següent hipòtesi: com que

l'etiquetatge dels tons seria un automatisme en l'OA (cal tenir compte també el postulat per Greber et al. (2018)), els individus amb OA no mostrarien diferències entre l'escolta passiva i l'etiquetatge. Per contra, els individus amb OR, no etiquetarien els tons durant l'escolta passiva sinó durant tasques explícitament d'etiquetatge. Duent a terme les dues condicions experimentals (escolta passiva i etiquetatge) i també tasques de Stroop, els autors van detectar mitjançant l'encefalografia una gran semblança entre l'escolta passiva i l'etiquetatge de tons en els músics amb OA. Concretament, durant l'etiquetatge i només en aquesta tasca, es van detectar diferències entre músics amb i sense OA en les oscil·lacions beta i theta, i no es van trobar diferències en les freqüències alfa. Els resultats van permetre als autors corroborar la hipòtesi inicial de la importància de l'automatisme de l'OA.

2.6.4 Connectivitat estructural

Molts estudis centrats en la neurociència cognitiva s'han focalitzat en identificar diferències de les regions del cervell. S'ha descobert que en l'OA hi intervenen processos de percepció inicialment, i més tard processos cognitius superiors. Els primers estan determinats sobretot per les zones circumdant la cissura de Silvi; els darrers, en canvi, semblen estar més determinats per les regions frontals. Tot i això, encara no es sap què és el que fixa l'OA: si els processos de percepció inicials o els processos de cognició més tardans.

És per això que en els últims anys, l'interès s'ha centrat en buscar diferències en la connectivitat del cervell, és a dir, la interacció entre les diferents àrees cerebrals, tant en l'estructura (identificant connexions entre la substància blanca i la substància grisa) com en la funcionalitat (identificant correlacions entre les àrees d'activació), per tal de desemmascarar els mecanismes que formen caràcters com l'OA.

Una manera d'investigar en l'àmbit de la connectivitat en l'OA es fa comparant la substància blanca d'aquells que posseeixen OA amb la d'aquells que no en posseeixen, mitjançant tècniques d'imatgeria per ressonàncies magnètiques (IRM), concretament mitjançant imatgeria del tensor de difusió. El tensor de difusió serveix per observar i valorar la mobilitat de les molècules d'aigua (difusió) en la substància blanca. Gràcies a l'observació de la difusió de l'aigua, es pot

aconseguir una representació tridimensional de l'estructura estudiada (Noguerol et al., 2017). L'anisotropia fraccionada mesura la direcció de la difusió de l'aigua i està relacionada amb el desenvolupament de la substància blanca (la seva mielinització i densitat). Per tant, uns alts valors en aquest paràmetre reflectirien una mielinització i densitat de la substància blanca més alta; de tal manera que un increment en aquest paràmetre indicaria un increment en la velocitat de l'impuls de propagació entre diferents regions del còrtex i una subseqüent eficiència en el processament de la informació (Burkhard et al., 2020).

Burkhard et al. (2020) van examinar les possibles diferències en l'etiquetatge de tons, focalitzant-se amb la substància blanca que es troba sota les zones que circumciden la cissura de Silvi. D'acord amb el prèviament explicat sobre l'anisotropia fraccionada, els autors van formular la hipòtesi que els individus amb OA tindrien un major desenvolupament de la substància blanca. I efectivament, Burkhard et al. (2020) van identificar una correlació positiva entre els valors d'anisotropia fraccionada en la substància blanca situada sota el PT esquerre i l'habilitat de l'OA. És a dir, com major era el grau d'OA, més connectat estava el PT esquerre a altres regions del cervell. Els autors van reiterar la importància del PT esquerre, ja mencionada en aquest treball amb anterioritat; especulant que el PT duu a terme una associació dels tons amb diferents patrons i envia posteriorment la informació a regions superiors per associar aquests patrons a la seva etiqueta significativa corresponent. És a dir, podria ésser la connectivitat de la substància blanca de sota el PT el que estableix l'OA, sobretot en l'hemisferi esquerre.

Aquesta substància blanca situada sota el PT forma part del fascicle longitudinal superior (FLS) – un fascicle, altrament dit feix o tracte, és un conjunt de fibres nervioses. Aquest fascicle en concret connecta les regions temporals amb les regions frontals del cervell (Figura 34), i està especialment implicat en el processament de la parla. També té un paper important en el processament musical; es va descobrir que el desenvolupament d'aquesta zona incrementa proporcionalment a les hores d'entrenament o pràctica musical.

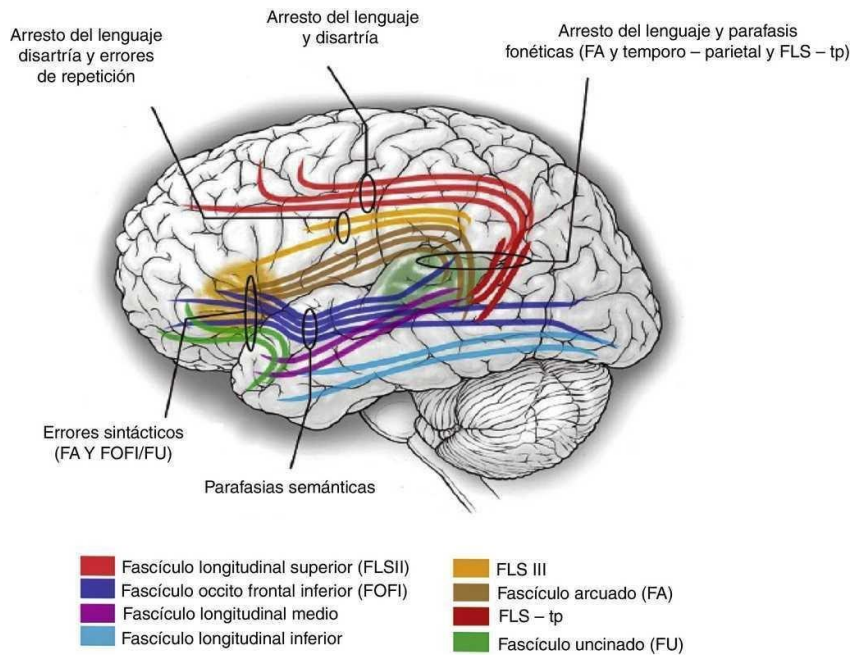


Figura 34 Esquema dels diferents fascicles (feix de fibres nervioses) cerebrals. En vermell, el fascicle longitudinal superior. Font: <https://www.elsevier.es/>.

El FLS inclou el fascicle arquejat, un feix de fibres nervioses que uneixen l'àrea de Broca amb la de Wernicke (Figura 35).

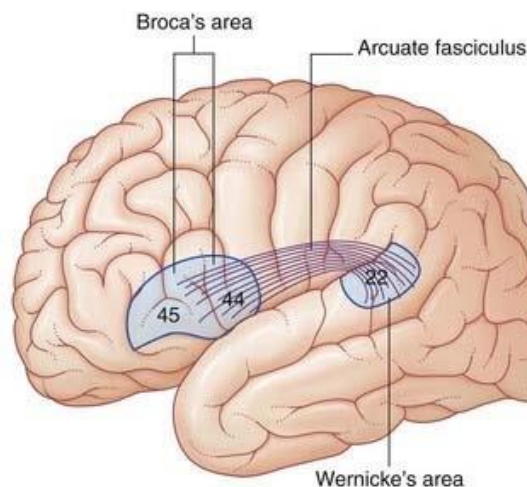


Figura 35 Esquema del fascicle arquejat, un feix de nervis que uneix l'àrea de Broca amb la de Wernicke. El fascicle arquejat (en anglès arcuate fasciculus) forma part del fascicle longitudinal superior (FLS). Font: <https://www.quora.com/>.

Loui et al. (2014) van comparar la connectivitat de la substància blanca de regions on el fascicle arquejat coincideix amb altres fascicles (entre el gir temporal superior, GTS, i el mitjà, GTM) en individus amb i sense OA. Els seus resultats van detectar que els trams de substància blanca que connecten GTS posterior amb el GTM són més gruixuts en individus amb OA que en individus

sense OA, particularment en l'hemisferi esquerre. La hiperconnectivitat en aquestes regions, coincidiria amb el postulat per Burkhard et al. (2020), tot i que els primers van detectar la hiperconnectivitat bilateralment i els darrers només en l'hemisferi esquerre.

Alhora, el FLS forma part de la via dorsal posterior, un tracte originat al PT i projectat fins la DLPFC que forma part del model dels de les dos vies auditives (la via dorsal i la via ventral), vegeu Figura 36.

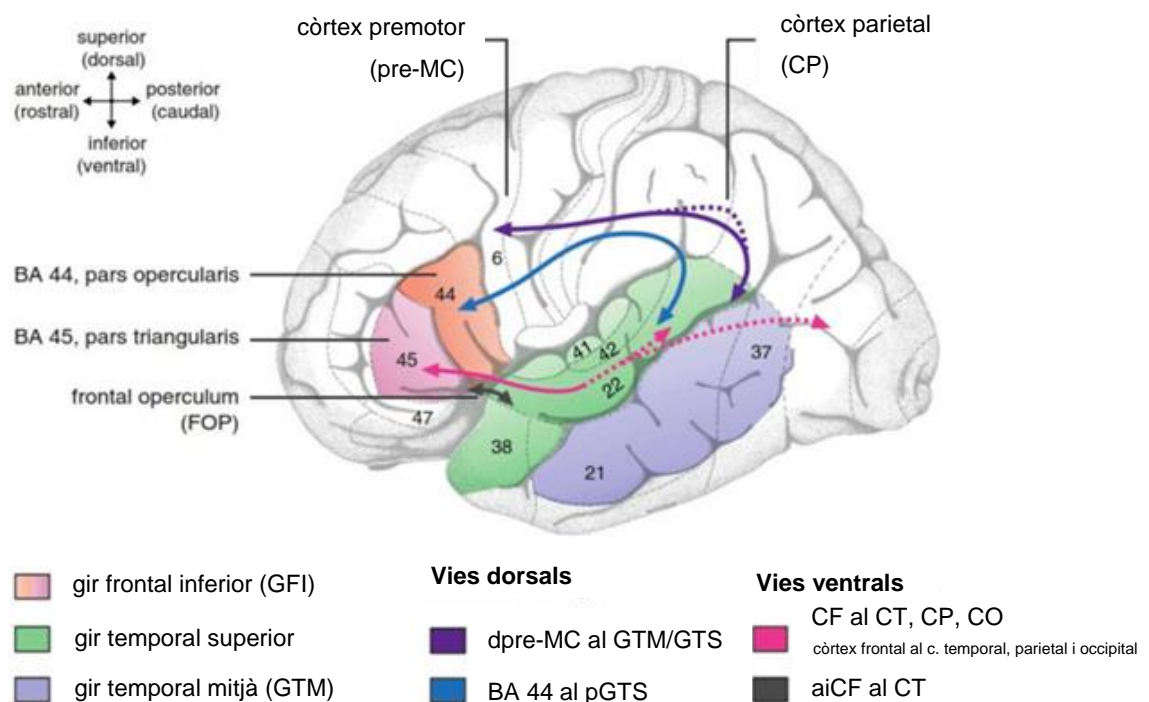


Figura 36 Vies dorsals i ventrals. dpre-MC: còrtex premotor dorsal; GTM/GTS: girs temporal superior i mitjà posteriors; CF: còrtex frontal; CT: còrtex temporal; CP: còrtex parietal; CO: còrtex occipital; aiFC: còrtex frontal inferior anterior. Font: <https://www.researchgate.net/>.

La via dorsal permet la integració sensorial-motora, l'articulació i les funcions de memòria verbal. Per altra banda, la via ventral, que parteix del còrtex auditiu primari i regions pròximes (p.ex. el planum polare) i flueix fins el gir frontal inferior, està involucrada en el processament dels espectres sonors complexos i facilita el reconeixement d'aquests (Leipold, Greber, & Elmer, 2019).

Burkhard et al. (2020) proposen que l'OA recau en la implicació de la via dorsal posterior, concretament del PT esquerre. Tanmateix, Kim & Knösche (2017) afirmen el contrari: és el planum polare (situat abans del gir de Heschl, vegeu

Figura 17) de l'hemisferi dret, que forma part de la via ventral, el que mostra un fort desenvolupament de la substància blanca situada sota seu.

El cas és que s'ha vist que el STG (en el qual es troben el PT i el PP) i el STS estan implicats en l'OA quant a l'emmagatzematge de les representacions dels tons a llarg termini, la percepció, categorització i identificació dels tons, etc., però actualment es desconeix el seu rol exacte. És més, hi ha una gran varietat de resultats dels estudis recents al respecte, que difereixen quant a l'hemisferi i grup (individus amb o sense OA) on es fa palesa una forta activació.

Brauchli et al. (2019) a més a més del còrtex auditiu, van estudiar la connectivitat de l'escorça o còrtex prefrontal i les regions parietals. Els autors van observar aquestes regions en estat de repòs mitjançant IRM en músics amb i sense OA (n=100). Va resultar que els músics amb OA mostraven una hiperconnectivitat en el gir frontal mitjà (GFM) esquerre, el solc intraparietal (SIP) esquerre i el lòbul parietal superior (LPS) dret, vegeu Figura 37.

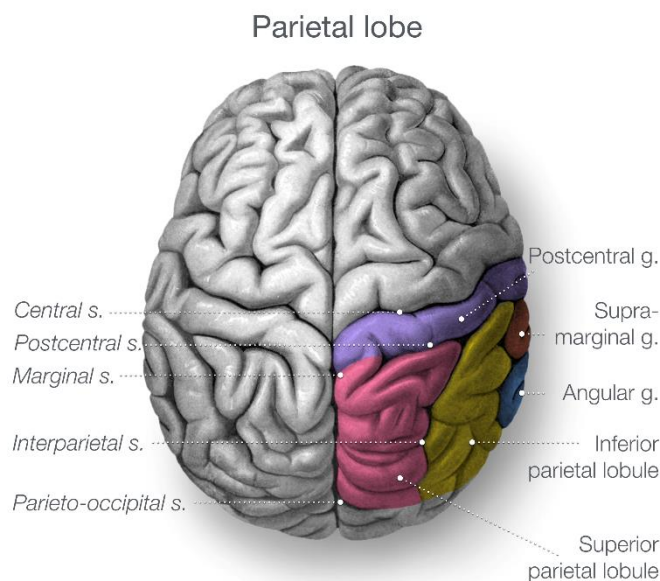


Figura 37 Parts del lòbul parietal dret, entre les quals es troben el solc intraparietal i el lòbul parietal superior. Font: <https://radiopaedia.org/>.

Brauchli et al. (2019) van aportar les primeres evidències que existeix una xarxa neuronal específica pels individus amb OA, que va més enllà del còrtex auditiu i que implicaria una hiperconnectivitat en regions cognitives superiors (com el SIP, el LPS i el GFM). Els autors també van trobar una connectivitat incrementada en el GH esquerre en els individus amb un grau alt d'OA, però només detectable

mitjançant l'anàlisi de patrons multi-vòxel (també conegut com anàlisi multivariada), que permet observar la xarxa funcional molt més detalladament. Brauchli et al. (2019) van concloure que les associacions to-etiqueta significativa, la memòria de treball, la categorització dels tons i la integració multimodal són els mecanismes que formen l'OA, i estan controlats per una xarxa neuronal extensa i una hiperconnectivitat particular en el còrtex auditiu només present en els individus amb OA. També van suggerir que el lòbul parietal és el que permet l'associació entre to-etiqueta significativa, gràcies a la seva implicació en la integració multimodal i la memòria de treball.

Per tant, sembla ser que l'OA requereix una xarxa neuronal extensa concernent ambdós hemisferis: l'esquerra estaria presumptament involucrat en l'etiquetatge dels tons, mentre que les regions circumdant la cissura de Silvi de l'hemisferi dret (o bé bilaterals) serien necessàries per la percepció i categorització dels tons (Burkhard et al., 2020).

De totes maneres, fa falta utilitzar mètodes anatòmics però també funcionals, així com també incorporar tant tasques d'escolta activa com de passiva per tal de desxifrar els rols de les diferents regions relacionades amb l'OA.

2.6.5 Connectivitat funcional

Les funcions cognitives superiors com la memòria, l'atenció i la intel·ligència són el fruit de les interaccions entre múltiples regions del cervell. La connectivitat funcional és un element clau per descobrir els mecanismes que constitueixen l'OA, doncs ja s'ha mencionat al llarg d'aquest treball que hi ha moltes regions implicades en aquesta habilitat cognitiva.

Per començar, s'ha detectat que els individus amb OA presenten avantatges a l'hora de codificar els tons, ja que els components inicials dels PE exògens (p.ex. l'N100) tenen una activació més gran en aquests.

També s'ha observat que durant tasques que requereixen la memòria de treball els individus amb OA presenten menys activació que els individus amb OR en les regions frontals inferiors i mitjanes, i les parietals (p.ex. el GFI i la pre-AMS,

vegeu 2.6.2.1 i 2.6.2.2), tot i que excel·leixen per sobre dels individus amb OR en aquestes tasques A més a més, s'han trobat activacions menors en alguns PE endògens com el P3b, relacionats amb la memòria de treball (vegeu 2.6.3.2).

Aquests resultats condueixen cap a la hipòtesi de l'eficiència neuronal, caracteritzada per un alt acompliment de la tasca demanada però amb un baix ús de mecanismes neuronals (Leipold, Brauchli, et al., 2019).

Ara bé, l'OA podria, en comptes de presentar una eficiència neuronal, utilitzar estratègies diferents com la memòria associativa, presumptament duta a terme per la DLPFC (Brauchli et al., 2019).

La presència d'una xarxa neuronal extensa present en l'OA i una possible eficiència neuronal plantegen la següent pregunta: l'OA té efectes a gran escala, és a dir, al conjunt de xarxes neuronals del cervell? Es creu que l'eficiència neuronal ve donada per una alta connectivitat en subxarxes neuronals i poques connexions a gran escala (Brauchli, 2019). Així doncs, seria plausible que l'OA tingui efectes a la connectivitat general del cervell.

A dia d'avui, només s'han realitzat tres estudis al respecte (Brauchli et al., 2019; Jäncke et al., 2012; Loui, 2014). Loui et al. (2014) van concloure en que els individus amb OA presenten una major connectivitat funcional a tot el cervell, mentre que Jäncke et al. (2012) van suggerir el contrari.

Brauchli et al. (2019) van disposar-se a estudiar quina de les dos teories és la més encertada mitjançant l'anàlisi de la connectivitat a gran escala del cervell de músics amb OA. Els autors van enregistrar a través de l'electroencefalografia l'activitat elèctrica dels subjectes en estat de repòs i durant l'escolta passiva (tant amb música com amb "audiollibres", lectures enregistrades de llibres), i van analitzar les dades obtingudes mitjançant la teoria de grafs i del "petit món".

La teoria de grafs i el "petit món" són eines molt útils a l'hora d'investigar la connectivitat entre les xarxes neuronals. Aquesta teoria ve definida per dos paràmetres: el coeficient d'agrupament (en anglès, *clustering*), que indica quant "acumulats" estan els vèrtexs que formen la xarxa (és a dir, les neurones), i l'eficiència de transferència de la informació (indicada per distància mitjana entre aquests vèrtexs o neurones). Per tant, el grau de connectivitat ens informa del

– però no en estat de repòs. Concretament, els músics amb OA mostraven un menor grau de densitat de la xarxa en comparació amb els no músics. Els músics amb OR mostraven, per altra banda, un grau intermedi entre els altres dos grups.

El menor grau de densitat de la xarxa neuronal presentat pels músics amb OA durant l'escolta passiva segurament ve donat pel fet que una categorització superior dels tons és inherent a aquesta habilitat. Malgrat això, l'habilitat musical també hi juga algun paper, doncs els individus amb OR presentaven també un menor grau de densitat que els no músics. L'entrenament musical desenvolupa funcions cognitives com ara la memòria auditiva, la integració sensorial-motora i el processament sintàctic, relacionades amb el ritme de freqüència beta. Els músics mostraven una ona beta de menor amplitud que els no músics, suggerint d'aquesta manera que existeix una eficiència neuronal d'aquestes funcions cognitives en aquest grup. Les altres ones de ritme de freqüència no es van detectar, tot i que això no vol dir que no intervinguin en el processament de l'OA (vegeu 2.6.3.2).

Un altre factor a tenir en compte és l'impacte que poden tenir les emocions en la funcionalitat de les xarxes neuronals. Les diferències en l'ona beta prèviament mencionades es mostraven aparentment proporcionals a les respostes emocionals que generava l'escolta de la música. No obstant, sembla ser que el processament emocional està més associat amb les freqüències alfa, en les quals no es van trobar diferències entre grups.

2.6.5.2 Topologia de la xarxa neuronal

En l'estudi de Brauchli et al. (2019) no es van detectar diferències entre grups en la topologia de la xarxa neuronal en cap de les condicions ambientals (estat de repòs i escolta passiva), és a dir, en el coeficient d'agrupament i en l'eficiència local o distància entre vèrtexs de la xarxa.

2.6.5.3 Subxarxes neuronals implicades en l'OA

Les diferències en densitat de la xarxa neuronal del cervell dels músics amb OA es van detectar en el còrtex prefrontal ventromedial, el lòbul precuneïforme i regions del lòbul temporal mitjà, on aquest grup mostrava un menor grau de connexions durant l'escolta passiva.

És a dir, els principals vèrtexs d'aquesta subxarxa es localitzen en les regions prefrontals, parietals i temporals mitjanes, que ja s'havia detectat en altres estudis (Brauchli et al., 2019). Notòriament, aquestes regions formen part d'una xarxa més àmplia anomenada Circuit d'Activació per Defecte (CAD, en anglès *default mode network*, abreviat DMN). Aquesta xarxa està formada per una sèrie de regions cerebrals interconnectades que s'activen fortament durant l'estat de repòs i tasques que no requereixen gaire atenció (com és el cas de l'escolta passiva). El CAD s'ha relacionat amb el monitoratge d'estats interns i de la memòria episòdica o autobiogràfica. Les regions que conformen la xarxa són el còrtex frontal ventromedial i dorsolateral, la circumvolució del cíngol anterior, la circumvolució del cíngol posterior, el lòbul pre-cuneïforme o la pre-circumvolució occipital interna, l'escorça parietal i l'hipocamp (Maggioni, 2017), com es mostra a la Figura 39.

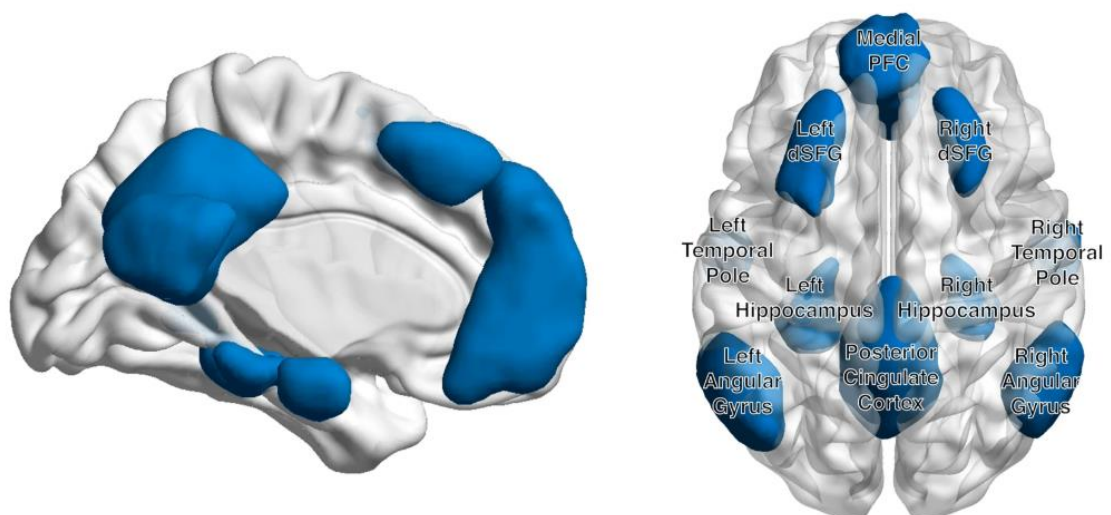


Figura 39 Regions implicades en el Circuit d'Activació per Defecte (CAD, en anglès *default mode network*, DMN) vistes des de diferents perspectives. Conformen el CAD el còrtex frontal ventromedial i dorsolateral, la circumvolució del cíngol anterior, la circumvolució del cíngol posterior, el lòbul pre-cuneïforme o la pre-circumvolució occipital interna, l'escorça parietal i l'hipocamp. Font: <https://www.nature.com/>.

S'ha vist també en altres estudis que la connectivitat funcional que presenta el CAD és molt semblant durant l'estat de repòs i l'escolta passiva de música. Així doncs, la baixa connectivitat funcional en el CAP que presenten els músics amb OA comparada amb la dels no músics podria estar relacionada amb una implicació cognitiva superior dels primers durant l'escolta passiva. De manera similar al CAP, es va trobar un circuit neuronal semblant en els músics amb OR, tot i que no es va poder validar segons els criteris d'anàlisi de dades (Brauchli et

al., 2019). No obstant, aquesta segona constatació dona suport a la hipòtesi que l'aptitud musical, juntament amb l'OA, té influència en la connectivitat funcional.

En resum, Brauchli et al. (2019) van confirmar la troballa de Jäncke et al. (2012) d'una menor connectivitat funcional a escala cerebral en músics amb OA durant l'escolta passiva de música. A més a més, els autors van proposar que aquesta connectivitat disminuïda no és només conseqüència de l'OA sinó també causada, en part, pel domini musical, el processament musical i el processament auditiu en si; l'aptitud musical indicaria una complexa interrelació entre diferents regions cognitives del cervell. També seria concebible pensar que les emocions influeixen la connectivitat funcional de cervell, però caldria examinar aquesta opció amb més detall en futurs estudis.

2.7 L'OA i les poblacions especials

S'ha vist que l'OA, que té una incidència d'entre un 0,01% a l'1% en la població, té una prevalença més alta entre algunes ètnies (vegeu 2.5.2) i entre certes poblacions especials, tal com els individus amb autisme o ceguesa.

La síndrome de Williams també apareix mencionada en la literatura sobre l'OA, ja que un Lenhoff et al. (2001) va identificar, sorprenentment, cinc casos d'infants amb síndrome de Williams amb OA. La síndrome de Williams és una síndrome congènita del neurodesenvolupament molt poc freqüent que causa una sèrie d'alteracions facials i deficiències en algunes tasques cognitives. Està associada amb alteracions en el còrtex parietal dret, el còrtex frontal esquerre i el cerebel (Vilallonga et al., 2012). A causa del descobriment de Lenhoff et al. (2001), Levitin et al. (2004) van examinar si els individus amb la síndrome de Williams presenten una predisposició per l'OA. Els resultats van refutar aquesta opció, malgrat el fet que els individus amb aquesta síndrome mostren un lligam emocional més alt amb la música que els controls.

En canvi, altres poblacions especials amb autisme, ceguesa o sinestèsia sí que presenten una relació amb l'OA.

2.7.1 Autisme

La prevalença de l'OA és més alta entre individus amb el trastorn de l'espectre autista. El trastorn de l'espectre autista, conegut comunament com autisme, és un trastorn del neurodesenvolupament que es manifesta ja prematurament en la infància. Està caracteritzat per un dèficit en les habilitats sociocomunicatives i per uns patrons de comportament, d'activitats o d'interessos restringits i repetitius (Vilallonga et al., 2012). Així mateix, els individus amb autisme sobresurten en altres habilitats; per exemple, presenten una sensibilitat auditiva especial, molt similar a l'OA.

Dohn et al. (2012) van estudiar aquesta possible relació entre l'OA i l'autisme mitjançant els test del trastorn de l'espectre autista. Aquest qüestionari mesura les habilitats socials, comunicatives, la imaginació, l'atenció vers els detalls i els canvis d'atenció. Els individus amb OA presentaven un major quocient autista en el test, tot i que no era causat per un dèficit en habilitats comunicatives i socials sinó per diferències en la imaginació i l'atenció. Els autors van suggerir un futur estudi més exhaustiu d'aquests dos components, doncs no van arribar a tenir una significança estadística en el seu estudi.

Wenhardt & Altenmüller (2019) van investigar si l'atenció vers els detalls en comptes de vers l'estímul en el seu conjunt, un tret autístic, es fa també palès en l'OA. Es van dur a terme dos experiments en aquest àmbit en el camp visual i l'auditiu, però l'anàlisi de resultats va ser inconsistent, probablement a causa de les limitacions dels paradigmes utilitzats. Tot i això, els resultats estaven parcialment d'acord amb el fet que els individus amb OA propicien més atenció vers els detalls, com els individus amb autisme.

En resum, els individus amb OA semblen posseir una millor categorització auditiva molt semblant a la que genera l'autisme, tot i que els estudis en aquest àmbit necessiten una investigació més extensa (Loui, 2014).

2.7.2 Ceguesa

En els músics cecs, la incidència de l'OA és molt més alta – tant si la ceguesa és congènita com si la ceguesa és deguda a factors ambientals. Aquesta població ja té de per si les habilitats auditives molt més desenvolupades que les persones vidents, doncs, a falta de l'estímul visual, el cervell experimenta redistribucions per afavorir els altres sentits (Loui, 2014). És a dir, les regions del còrtex occipital destinades al processament visual s'utilitzarien per a tasques no visuals com ara el processament auditiu, i es veurien així mateix modelades les regions parietals d'integració multimodal.

Aquesta neuroplasticitat afectaria també al període crític en el qual és més probable desenvolupar OA. Hamilton et al. (2004) van estudiar el cas de 46 subjectes cecs que havien perdut la vista després del naixement. D'aquests 46, 21 havien rebut educació musical i 12 d'ells posseïen OA. En alguns subjectes cecs amb OA, l'edat d'inici de l'entrenament musical sobrepassava el llindar del període crític (els 8 o 9 anys) però tot i així presentaven aquesta habilitat. Els autors van suggerir que la neuroplasticitat causada per la ceguesa contribuiria al desenvolupament de l'OA, ja que d'aquesta manera es podria explicar per què una iniciació tardana a la música no influiria en el desenvolupament de l'OA.

D'altra banda, també seria plausible pensar que la prevalença d'individus cecs amb OA es veuria incrementada a causa que les persones cegues ja tenen generalment millors habilitats auditives inherents. És a dir, les proporcions serien les mateixes que per la població vident, simplement augmentades. Ara bé, aquesta hipòtesi només es podria comprovar utilitzant una mostra molt més àmplia, fet difícil en poblacions minoritàries com l'OA i la ceguesa (Hamilton et al., 2004).

2.7.3 Sinestèsia

La sinestèsia és un trastorn sensoperceptiu rar amb una incidència del 4,4% en la població general (Brauchli, 2019). Aquest trastorn sensoperceptiu provoca que uns determinats estímuls sensorials o cognitius generin automàticament una sensació sensorial addicional d'una altra modalitat (Loui, 2014). Per exemple,

entre els aproximadament vuitanta tipus diferents de sinestèsia, trobem la sinestèsia auditiva-visual (AV), en la qual la percepció d'un to indueix la percepció d'un color. Es podria dir, doncs, que és una espècie de fusió dels sentits que passa a causa de la desinhibició d'algunes connexions neuronals. En els individus amb sinestèsia, els senyals neuronals que surten d'àrees sensorials primàries (p.ex. l'auditiva) es propaguen fins arribar als les zones d'integració multisensorial (p.ex. el còrtex parietal). Quan el senyal retorna a àrees sensibles inferiors, les connexions que ho permeten estan desinhibides de tal manera que s'activen altres regions sensorials (p.ex. la visual) (Brauchli, 2019).

La sinestèsia AV comparteix alguns trets amb l'OA, car en ambdós fenòmens hi ha una associació entre l'estímul auditiu i un estímul visual o una etiqueta significativa, respectivament. Loui et al. (2012) van assenyalar que l'OA i la sinestèsia mostren una forta activació en les regions secundàries del còrtex auditiu durant l'escolta de música i que per tant presentarien mecanismes neuronals molt similars. No obstant, Brauchli (2019) va remarcar que, tot i que la sinestèsia AV mostra una forta activació de regions auditives, no mostra una categorització avançada dels tons, com passa en l'OA.

Els dos fenòmens impliquen una forta connectivitat en estat de repòs de les xarxes neuronals d'unes regions: en el cas de l'AV, en les àrees auditives, visuals i parietals; en el cas de l'OA, en les àrees frontals i parietals (Brauchli, 2019). L'element principal que tenen en comú és la implicació del lòbul parietal, que en ambdós casos duu a terme un rol d'integració multimodal dels diferents estímuls sensorials: l'associació to-etiqueta significativa, i l'associació de l'estímul inductor i el subseqüent induït, respectivament.

Per altra banda, l'OA està caracteritzada per una hiperconnectivitat local (en les subxarxes específiques) i una hipoconnectivitat a gran escala (vegeu 2.6.5), mentre que la sinestèsia AV presenta una hiperconnectivitat en tot el cervell. Per tant, l'OA seria un exemple d'alta eficiència en la transmissió de la informació d'una regió a una altra i la sinestèsia AV vindria a ser un exemple de transmissió fàcil, facilitada a causa de múltiples connexions (Brauchli, 2019).

2.7.4 Amúsia

L'amúsia no és un fenomen que presenti trets comuns amb l'OA sinó tot el contrari, però és digna de mencionar en relació amb l'OA. L'amúsia es defineix com: “agnòsia auditiva en la qual es perd la capacitat de percebre, recordar o executar música, produïda per lesions en les àrees auditives secundàries de l'escorça del lòbul temporal de l'hemisferi dominant per a aquesta funció” (Vilallonga et al., 2012). De fet, el seu nom prové de la paraula grega *amousía*, que significa literalment “manca d'harmonia”. L'amúsia és un fenomen al qual sovint es refereix com afàsia musical, doncs és anàleg a l'afàsia, la pèrdua total o parcial de les capacitats de comprendre i produir el llenguatge produït per lesions o malalties (del grec *aphásis* “manca de paraula”).

Curiosament, tant els subjectes amb amúsia congènita o adquirida, presenten dificultats en comprendre la música però mostren un sistema auditiu intacte. Les diferències semblen trobar-se en la substància blanca de l'escorça frontal, concretament en el GFI dret. S'ha vist que un volum menor de la substància blanca d'aquesta regió es correlaciona amb el grau d'amúsia en varis estudis (García-Casares et al., 2013). El GFI, mencionat al llarg d'aquest treball, representa un punt de connexió entre les regions temporals i les frontals, i està implicat en la memòria de treball. D'aquesta manera, resulta molt difícil als subjectes amb amúsia accedir a la informació codificada pel que fa als tons.

Sembla ser, doncs, que l'amúsia congènita podria donar-se per un GFI anormal que afecta en les connexions frontal-temporals, tot i que també podria donar-se per una disfunció del còrtex frontal (Chen & Yuan, 2016). L'amúsia per lesió podria ésser causada pel dany d'almenys d'algun dels lòbuls frontal o temporal. Per últim, seria també plausible pensar en alteracions en la morfologia de la substància blanca, o la grisa, del còrtex temporal, tot i que encara no s'han trobat evidències al respecte (García-Casares et al., 2013).

3 MARC PRÀCTIC

La idea inicial d'aquest treball era poder realitzar una part pràctica en relació amb els processos cerebrals que donen lloc a l'OA, així com poder aplicar alguna tècnica de neuroimatgeria per a poder observar les diferents estructures i funcionament del cervell en individus amb i sense OA. Tanmateix, aquesta ambició va sorgir abans de fer una recerca profunda sobre el tema en qüestió i posar-se en contacte amb persones amb coneixements sobre el cervell i l'oïda. És per això que, a mesura que es van anar assentant els conceptes i informació sobre aquest àmbit, es va arribar a la conclusió que realitzar una part pràctica com la mencionada unes línies més amunt escapava dels recursos i les capacitats de l'autora d'aquest treball, tant econòmics com de coneixements i viabilitat. Conseqüentment, es va buscar una alternativa que fos també enriquidora per als coneixements adquirits com podria ésser realitzar algun seguit de proves a individus amb i sense OA. Cal destacar, però, que la situació d'emergència causada per la Covid-19 va acabar modulant la idea de part pràctica per tal que es pogués realitzar sense necessitat d'assistir presencialment a un centre d'estudis musicals o similar. Així doncs, va acabar sorgint una part pràctica que consta d'una enquesta i dues proves experimentals realitzables a través de l'ordinador de cada participant. L'enquesta té la finalitat de recollir dades sobre els factors ambientals de cada subjecte estudiat i les dues proves són sobre l'oïda absoluta, la primera, i sobre l'efecte Stroop, la segona.

4 HIPÒTESIS

En base al que s'acaba de mencionar i als coneixements adquirits en el marc teòric d'aquest Treball de Recerca, s'han formulat les següents hipòtesis:

1. L'OA és igual de prevalent tant en el gènere masculí com en el femení;
2. L'OA no és una habilitat de tot o res, dicotòmica. Hi ha diferents graus d'exactitud dins dels individus amb OA així com dins dels individus sense OA;
3. L'OA és una habilitat automàtica, no es pot inhibir encara que sigui perjudicial per a realitzar la tasca encomanada;
4. Tenir OA fa augmentar la velocitat de resposta en les proves d'OA;
5. El període crític influeix en el desenvolupament de l'OA;
6. L'edat del subjecte afecta negativament a l'exactitud en la percepció dels tons.

5 MATERIALS I MÈTODES

Per tal de realitzar la part pràctica d'aquest treball s'ha contactat amb una sèrie de persones amb formació musical i/o molt contacte amb la música, que han acceptat de manera altruista col·laborar en aquest treball.

S'ha proporcionat una enquesta mitjançant Google Forms als participants per a poder de recollir dades ambientals necessàries a l'hora d'analitzar els resultats. En aquesta enquesta s'informa també als subjectes que les seves dades (adreça electrònica, nom i cognoms) no serveixen per altra cosa que per a relacionar les diferents proves i resultats més àgilment i que en cap cas les seves dades han aparegut de forma individualitzada i relacionada amb el seu nom. Sempre s'han fet anar de forma col·lectiva i/o anònima.

Les dues proves experimentals han estat dissenyades amb el programa PsychoPy (versió 2020.1.3), un entorn de programació elaborat per investigadors de la University of Nottingham per a dissenyar i executar experiments científics en ciències de la conducta. L'experiment s'ha realitzat online a través de la plataforma digital Pavlovia (<https://pavlovia.org/>), que està vinculada al programa. Val a dir que el cost de realitzar un experiment a través de la plataforma Pavlovia no és gratuït sinó que requereix o bé tenir una llicència o bé pagar una petita quantitat de 0,25 € cada vegada que un subjecte completa una prova. Tot i que es van buscar alternatives, es va considerar en el seu moment que la millor opció per a poder desenvolupar una part pràctica, tant econòmicament com per qüestions de viabilitat, era fer la part experimental amb PsychoPy i pagar un seguit de crèdits en comptes de llicència. D'aquesta manera, es podia respectar el confinament imposat i alhora prendre mesures de temps equivalents per tothom de manera automàtica. Així doncs, es ajustar la mostra a un total de 45 participants qui, com prèviament s'ha dit, van accedir de manera altruista a col·laborar amb l'autora del projecte realitzant les dues proves i l'enquesta. El cost econòmic de la realització de la part pràctica ha sigut de 24,74 euros.

5.1 Prova d'oïda absoluta

Quant a les proves experimentals, la prova d'OA té com a finalitat determinar si els participants tenen oïda absoluta o no, i en quin grau. En aquesta prova, l'ordinador reproduïx un arxiu d'àudio simultàniament amb una imatge que apareix a la pantalla que representa el cercle de notes cromàtiques. Els participants han de fer un clic amb el ratolí sobre la nota de la imatge que creuen que correspon a l'àudio el més ràpid possible, sense tenir en compte l'octava. En el cas que el participant tardï més de 10 s a respondre, es reproduïx el següent àudio i la resposta queda en blanc. Els tons s'han creat amb el programa d'edició de so Audacity (versió 2.3.3) i les imatges amb el programa Microsoft PowerPoint (versió 2010).

El test s'ha elaborat en l'entorn PsychoPy seguint el mètode aplicat per Deutsch et al. (2006) en un article científic publicat al Journal of the Acoustical Society of America que té 144 cites, així com també amb algunes aportacions proposades per Oechlin et al. (2010). Els àudios presentats formen un total de 72 tons purs (tons d'ona sinusoïdal) compresos entre el Do₃ i el Si₅, seguint l'escala temperada en base a l'afinació La₄ de 440 Hz. L'escala temperada és l'escala musical utilitzada actualment per a l'afinació de pianos i altres instruments similars, que divideix l'octava en 12 semitons iguals (vegeu la freqüència específica de cada to: <https://auditoryneuroscience.com/pitch/fundamental-frequencies-notes-western-music>). A la prova, cada to es presenta dues vegades al llarg del seu transcurs, amb una duració de 500 ms, i precedit i seguit de 2 000 ms de soroll brownià. Aquest soroll està compost principalment per freqüències greus i mitjanes, i s'anomena així per la similitud que presenten l'amplitud de les freqüències del so amb el moviment de les partícules en del moviment brownià. En aquesta prova s'utilitza per crear una distorsió entre nota i nota, evitant l'ús de l'OR per comparar el to anterior amb el següent. L'ordre dels tons és aleatori però amb petites correccions manuals de manera que cada to es diferencia del successiu per almenys un semitò i una octava, també per tal de minimitzar l'ús OR.

Seguint les mesures aplicades per Deutsch et al. (2006), s'han analitzat els resultats de dues maneres: a) tenint en compte els errors de semitò; b) sense tenir

en compte els errors de semitò. En el primer cas, cada resposta correcta es puntua amb 1 punt i cada resposta incorrecta amb 0 punts. Els errors de semitò es consideren com a resposta incorrecta. En canvi, en el segon cas, els errors de semitò compten com a resposta correcta i són puntuats també amb 1 punt. El llindar a partir del qual es considera un individu com possessor d'OA és el 85 % de respostes correctes en ambdós casos. Baharloo et al. (1998), Deutsch (2014) i altres autors van denotar que la percepció dels tons pot canviar a partir dels 40-50 anys d'edat (vegeu apartat 2.5.3), fet que també ha estat considerat en l'anàlisi de resultats.

El programa utilitzat per dissenyar la prova, PsychoPy (versió 2020.1.3), és una plataforma gratuïta que permet elaborar i realitzar experiments relacionats amb neurociència, psicologia, psicofísica, lingüística, etc. així com també amb la música, com en el cas d'aquest treball. Presenta una gran exactitud a l'hora de calcular el temps emprat pel subjecte en realitzar qualsevol tasca programada (fins a sis decimals) i emmagatzema totes les dades experimentals en un arxiu de text que posteriorment es pot analitzar mitjançant el programa Microsoft Excel. A partir de la literatura mencionada anteriorment sobre aquest tipus de prova, qui signa aquest treball ha dissenyat i implementat l'experiment des de zero a través de la plataforma PsychoPy a partir de l'ajuda i del fòrum del programa així com també amb l'ús de tutorials disponibles a YouTube. A continuació es descriurà el procés de disseny de l'experiment.

La prova consta d'una sèrie de rutines que determinen l'ordre en què apareixen els estímuls auditius i visuals, és a dir els sons elaborats i enregistrats en arxius d'àudio i les imatges elaborades (Figura 40). Cada node té la duració específica especificada pel dissenyador de l'experiment.

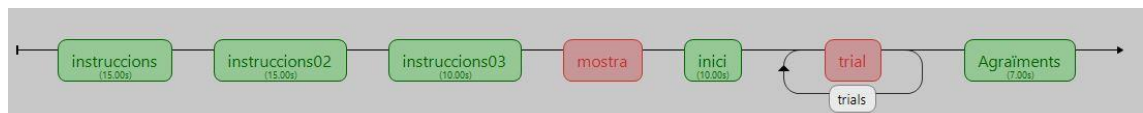


Figura 40 Rutines que determinen l'aparició dels estímuls al programa PsychoPy.

Abans de començar, però, al participant li apareix automàticament un quadre de diàleg (Figura 41) on demana introduir el seu nom i cognoms i el número de la sessió (se li demana de deixar el número que ja surt per defecte).

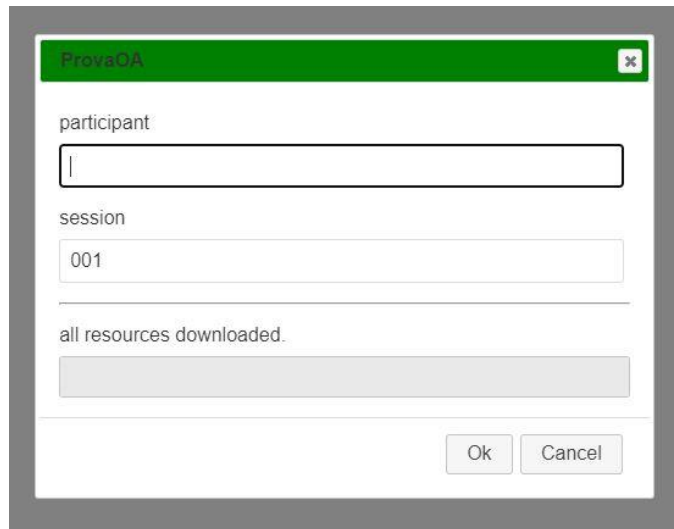


Figura 41 Quadre de diàleg que apareix al participant just abans de començar la prova.

Llavors, al començar l'experiment, les tres primeres rutines (anomenades "instruccions", "instruccions02" i "instruccions 03") informen al participant del que ha de fer per resoldre la prova. Contenen un text que es mostra el temps establert (Figura 43, Figura 44, Figura 45). A la pantalla del programa, el dissenyador ho veu tal com s'indica a la Figura 42.

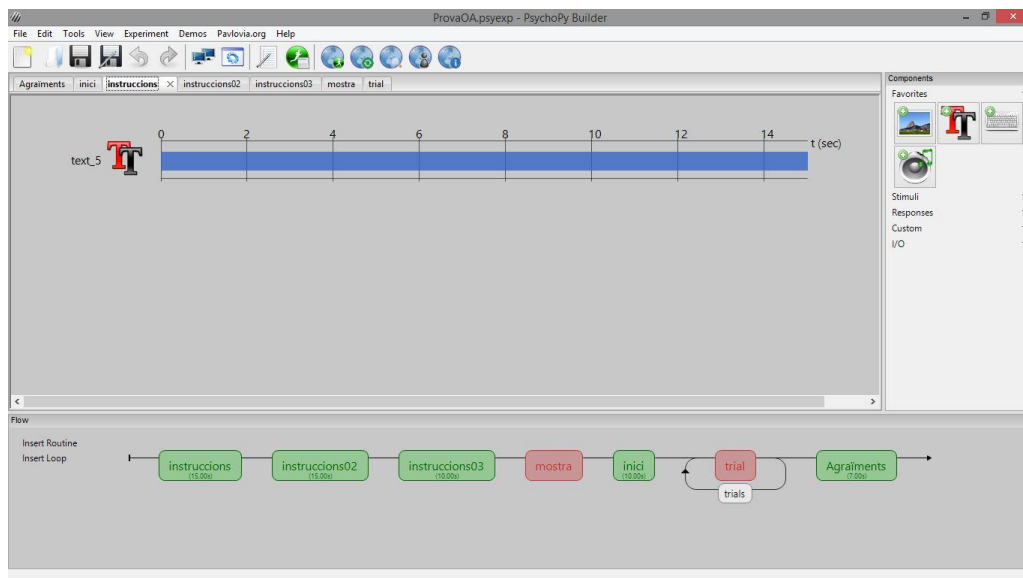


Figura 42 Imatge que es veu al programa de disseny durant la prova de les tres primeres rutines de l'experiment.

#Això és una prova per a avaluar quin grau d'oïda absoluta tens.

#Durant la prova sentiràs un seguit de sons.

#La tasca consisteix en identificar-los i clicar amb el ratolí la nota a la que creus que corresponen el més ràpid possible.

Figura 43 Missatge que veu el participant durant la segona rutina de la prova d'OA: "instruccions"

#Les notes que hauràs de clicar estan organitzades en un cercle de tons ordenats cromàticament.

#Els sons que has d'identificar són sons purs que corresponen a les notes compreses entre el Do3 i el Si5.

#Els sons duren 0,5 s i van precedits i seguits de 2 s de soroll brownià per a aïllar-los dels altres sons.

Figura 44 Missatge que veu el participant durant la segona rutina de la prova d'OA: "instruccions02"

#A continuació apareixerà un exemple del que veuràs i sentiràs durant la prova.

#Ara no caldrà que facis res. Simplement observa com estan disposades les notes al cercle cromàtic per anar més ràpid durant la prova.

Figura 45 Missatge que veu el participant durant la segona rutina de la prova d'OA: "instruccions03"

La quarta rutina, anomenada "mostra", és un exemple del que es veurà i sentirà durant la prova d'OA (Figura 46), que equival a la sisena rutina ("trial", repetida en bucle). Al panell de creació de l'experiment es veuen un seguit d'imatges, cadascuna corresponent a una de les 12 notes de l'escala, col·locades

manualment en unes coordenades específiques de la pantalla de tal manera que quedin disposades en cercle. Juntament amb les 12 imatges, es reproduceix un àudio, que correspon a un dels tons purs d'entre el rang de freqüències especificat anteriorment i un icona d'un ratolí, que permet al participant fer clic sobre la imatge corresponent al nom del so (Figura 47). La rutina està programada de tal manera que quan el subjecte cliqui sobre una nota, es passarà a reproduir el següent estímul auditiu. Si transcorren 10 s sense clicar cap imatge, es descarta la resposta i sona automàticament el següent estímul auditiu. I així fins a arribar a un total de 72 estímul.

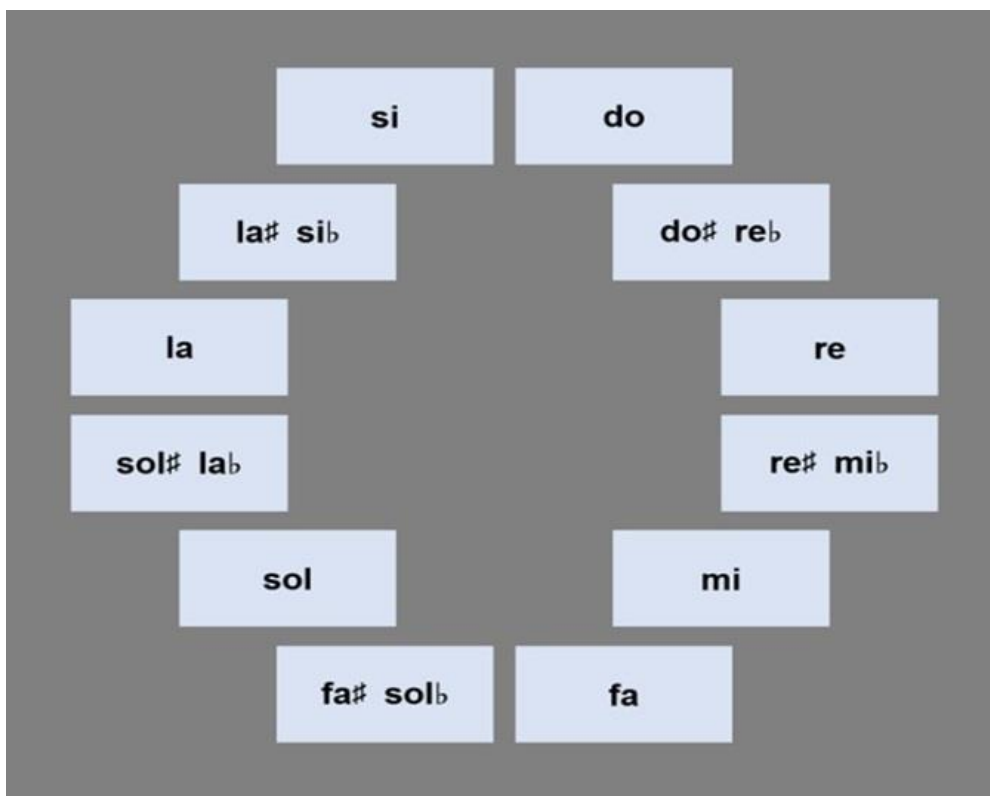


Figura 46 Imatge que es veu al monitor del participant durant els nodes "mostra" i "trial". Es presenten les 12 notes de l'escala en un cercle cromàtic. Simultàniament a la imatge sona un àudio corresponent a tons purs d'entre el Do₃ i el Si₅.

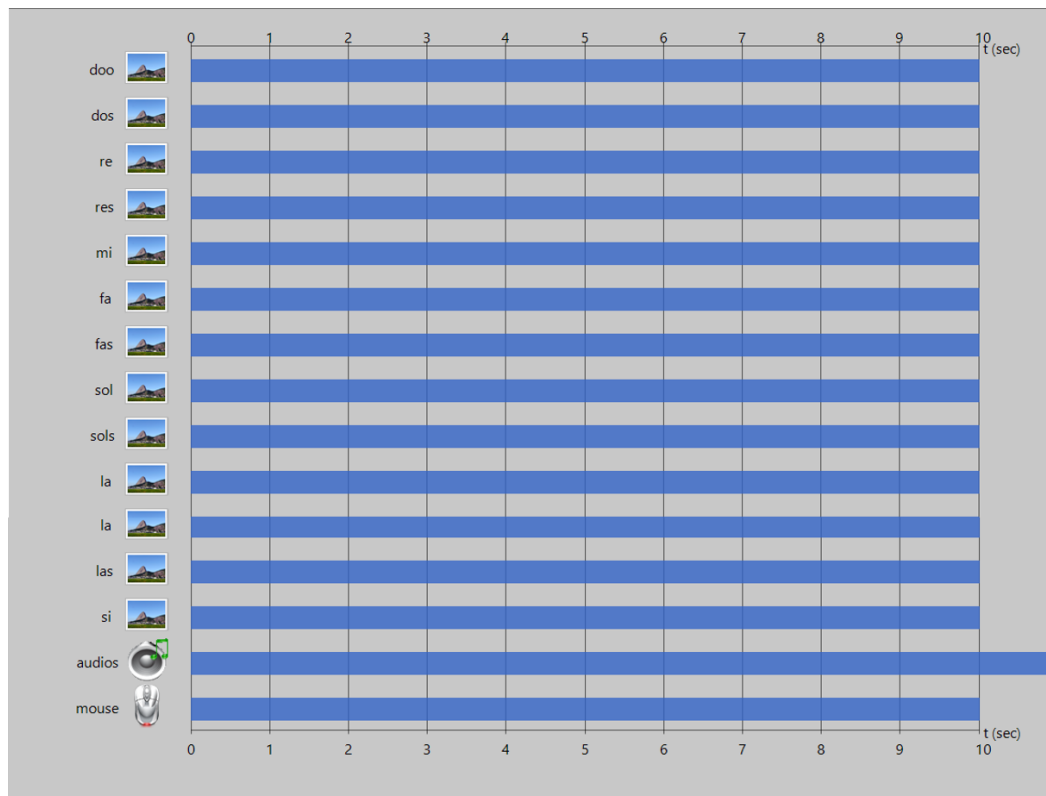


Figura 47 Imatge que es veu al programa durant les rutines de la prova d'OA anomenades “mostra” i “trial”.

Just després del node “mostra” apareix una rutina amb un últim recordatori (Figura 48), i a l'acabar la prova un missatge d'agraïment, que correspon a la setena i última rutina (Figura 49). El format d'ambdues rutines equival a les tres primeres rutines.

#Doncs ja pots començar!

#Recorda: fes clic amb el ratolí el més ràpid possible sobre la nota que creus que és. No cal que esperis a que acabi el soroll.

#Si tardes massa a respondre, la resposta quedarà en blanc i sonarà el següent so.

Figura 48 Missatge que veu el participant durant la cinquena rutina, un recordatori abans de començar la prova d'OA.

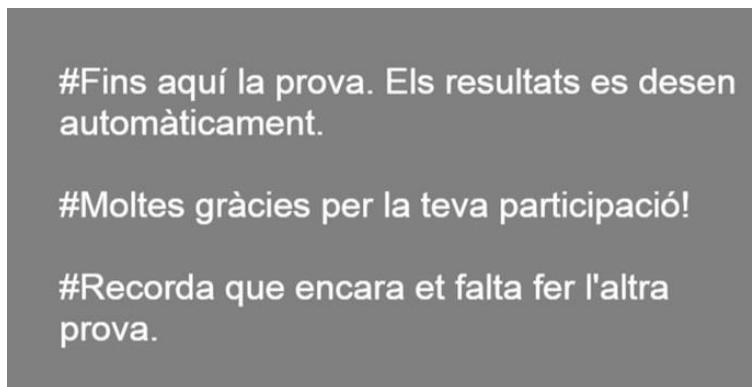


Figura 49 Missatge que veu el participant durant la setena i última rutina.

Finalment, les dades de cada participant es desen de forma automàtica en un arxiu de text que cal analitzar individualment amb el programa Microsoft Excel (Figura 50). Per agilitzar l'anàlisi, es dissenya una "Macro" pel programa Microsoft Excel, que permet obtenir les dades que interessin: la puntuació sense acceptar cap tipus d'error, la puntuació acceptant errors de semitò i la mitjana de temps de resposta.

	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC
1	mouse.clicked_nar	mouse.clicked_nar	mouse.clicked_nar	audio	name	numers	participant	sesior	date	engName	Resultat	Correctes	Errors	semitò	conecte	untucació	semitò	resultat	OA	semitò	untucació	amb	semitò	mitjana
2	2.57715	las	3	1	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte	39	32	1	54,17	No OA	36,61	Si OA	3,345583						
3	4.74279	dos	2	2	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
4	2.842875	sol	8	8	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
5	3.80662	re	3	3	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
6	5.67868	la	10	10	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
7	3.52526	re	3	3	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
8	5.95508	mi	5	11	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
9	3.38713	dos	2	2	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
10	3.8227	sol	8	9	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
11	3.07005	las	11	12	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
12	5.20755	la	6	6	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
13	3.54047	res	4	4	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
14	3.808235	la	10	10	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
15	5.41852	si	12	12	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
16	3.73721	sol	8	8	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
17	3.56495	las	7	6	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
18	3.33525	doo	1	1	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
19	4.79052	mi	5	5	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
20	4.13479	las	7	7	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
21	3.60485	re	3	3	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
22	3.732635	mi	5	5	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
23	3.021675	dos	2	2	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
24	5.12231	la	6	7	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
25	4.00828	mi	5	4	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
26	3.566045	re	3	2	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
27	3.77715	las	11	12	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
28	3.37051	las	7	6	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
29	4.22974	la	10	10	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
30	4.582035	si	12	12	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
31	3.21454	las	7	7	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
32	3.65707	res	4	5	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
33	3.68079	sol	8	5	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
34	4.582065	si	12	11	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
35	4.95505	dos	2	1	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
36	4.204305	la	6	9	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
37	4.07075	las	7	6	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
38	3.633595	res	4	4	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
39	4.36694	las	11	12	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
40	3.3357	sol	8	10	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
41	3.47074	mi	5	5	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
42	4.98795	dos	2	2	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
43	4.03375	re	3	3	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
44	3.493545	mi	5	5	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
45	3.4233	sol	8	8	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
46	4.79378	las	11	11	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
47	3.36234	sol	8	9	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
48	4.632505	las	11	11	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
49	3.640755	mi	5	4	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
50	4.63437	re	3	2	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
51	3.74863	sol	8	8	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
52	2.891225	re	3	11	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
53	3.447255	sol	8	9	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
54	4.38945	re	3	4	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
55	4.201705	sol	8	8	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
56	4.13111	las	11	10	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
57	3.62243	dos	2	1	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
58	3.57435	la	6	6	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
59	3.027805	re	3	3	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
60	3.62605	las	7	7	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
61	3.75617	mi	5	5	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
62	3.663455	las	11	12	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
63	6.36377	dos	2	3	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
64	3.47775	sol	8	10	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
65	3.44675	dos	2	2	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
66	3.62423	las	10	10	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
67	4.09485	las	7	7	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
68	3.80855	si	12	11	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
69	3.526875	sol	8	9	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
70	4.36652	las	7	7	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														
71	3.17863	doo	1	1	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
72	4.33268	res	4	4	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Conecte														
73	3.52389	re	3	2	Asses Escolt	1	2020-06-09_22h37	Y	ProvaOA	Error semitò														

Figura 50 Dades emmagatzemades de cada participant en la prova d'OA, un cop fet les anàlisis escaients.

5.2 Prova de l'efecte Stroop

Pel que fa a la tasca de l'efecte Stroop, aquesta té com a finalitat avaluar el grau d'interferència d'estímuls incongruents en els individus amb OA. La tasca consisteix en identificar el més ràpid possible la nota escrita en el pentagrama que es veu al monitor de l'ordinador, tot ignorant un estímul auditiu que es presenta simultàniament a la imatge. En algunes ocasions, la nota de la imatge correspon al to de l'àudio (en aquests casos, s'anomenaran estímuls congruents) i en altres, no (aquests darrers, s'anomenaran estímuls incongruents). Sovint, els estímuls incongruents creen una confusió i pèrdua de temps que genera el conegut com a "efecte Stroop".

La tasca ha estat creada seguint el model de Leipold et al. (2019), i per poder mesurar l'efecte Stroop s'ha calculat la mitjana del temps de resposta en el cas que els estímuls siguin congruents i la mitjana del temps de resposta en cas que siguin incongruents, descartant els valors anòmals, en aquest cas aquells que s'allunyaven més de dues vegades de la desviació estàndard de les mesures de temps. Calculant la diferència entre el temps de resposta mitjà en els estímuls incongruents i el temps de resposta mitjà en els estímuls congruents, s'ha obtingut l'efecte Stroop, podent ésser tant positiu, com negatiu, com o zero, en funció de si la persona en qüestió es veu afectada per la interferència dels estímuls incongruents o no.

Els sons presentats durant la prova són tons purs generats amb el programa d'edició de so Audacity (versió 2.3.3) que corresponen a les notes de l'escala temperada Do₄ (262 Hz), Re₄ (294 Hz), Mi₄ (330 Hz), Fa₄ (349 Hz) i Sol₄ (392 Hz). Cadascun té una duració de 500 ms, amb 10 ms de fosa d'entrada i 50 ms de fosa de sortida. Les imatges s'han realitzat amb el programa d'edició de partitures Muscore (versió 3.2.3.7635) i mostren les notes Do, Re, Mi, Fa i Sol, respectivament, al pentagrama.

Així com en el cas de la prova d'OA, aquesta segona prova s'ha desenvolupat des de zero a través del programa PsychoPy per l'autora del treball. El procés pel qual s'ha creat es detalla a continuació.

Per tal de dur a terme l'experiment, s'han dissenyat 8 rutines (Figura 51), 5 de les quals contenen instruccions per poder realitzar la prova ("instruccions", "instruccions 01", "instruccions02" i "instruccions03", respectivament). Les altres 3 corresponen a un exemple del que succeirà durant la prova (node amb el nom de "mostra"), la prova en si (anomenada "Stroop") i un missatge d'agraïment al final de tot (a la figura, "agraïments").



Figura 51 Rutines de la prova de l'efecte Stroop.

Les primeres rutines són vistes per qui dissenya la prova de manera semblant a la Figura 42, i corresponen als missatges que es poden observar a la Figura 52, Figura 53, Figura 54 i Figura 55.

#Aquesta tasca consisteix en identificar el més ràpid possible la nota escrita al pentagrama, ignorant el so.

#Només hi ha 5 notes: do, re, mi, fa i sol.

#Les notes aniran sortint alternades i pot ser que surti dos vegades successives la mateixa.

Figura 52 Missatge que veu el participant durant la primera rutina de la prova de l'efecte Stroop.

#Algunes vegades, la nota correspondrà a la nota de l'àudio i d'altres no. No en facis cas.

Figura 53 Missatge que veu el participant durant la segona rutina de la prova de l'efecte Stroop.

#Per indicar quina nota és la del pentagrama, hauràs de prémer les següents tecles del teclat, que són les notes en nomenclatura anglesa:

PENTAGRAMA		TECLAT
do	=	c
re	=	d
mi	=	e
fa	=	f
sol	=	g

Figura 54 Missatge que veu el participant durant la tercera rutina de la prova de l'efecte Stroop.

#A continuació apareixerà un exemple del que veuràs i sentiràs durant la prova.

#Prova de respondre apretant la tecla corresponent.

Figura 55 Missatge que veu el participant durant la quarta rutina de la prova de l'efecte Stroop.

Tot seguit apareix un node de mostra del que haurà de fer el participant durant la prova. Tant a la rutina “mostra” com a la rutina “Stroop” al programa es veuen tres icones (Figura 56): la primera correspon a la imatge que apareix cada vegada, la segona serveix per indicar les tecles del teclat de l'ordinador que es poden prémer (“c”, “d”, “e”, “f”, “g”, que equivalen al nom de les notes en nomenclatura anglesa) i l'última és l'àudio que es presenta. Els 3 estímuls s'allarguen indefinidament fins que el participant prem la tecla escaient al teclat, fins un total de 40 vegades.

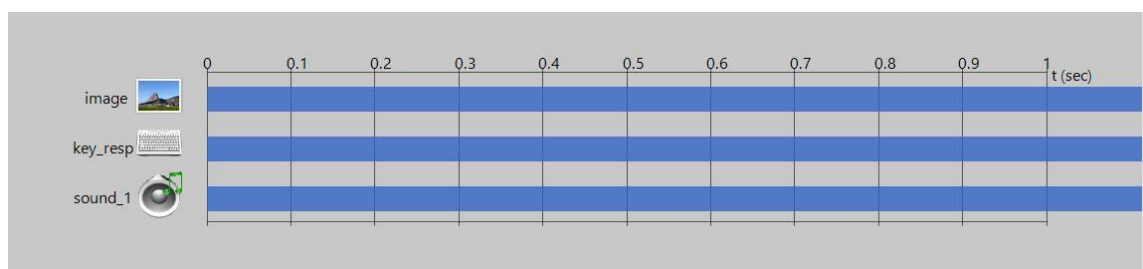


Figura 56 Imatge que es veu al programa PsychoPy durant la rutines 5 i 7: “mostra” i “Stroop”, respectivament.

No obstant, el que visualitza el participant és la següent imatge (Figura 57), juntament amb un to pur que pot correspondre o no al nom de la nota escrita al pentagrama.

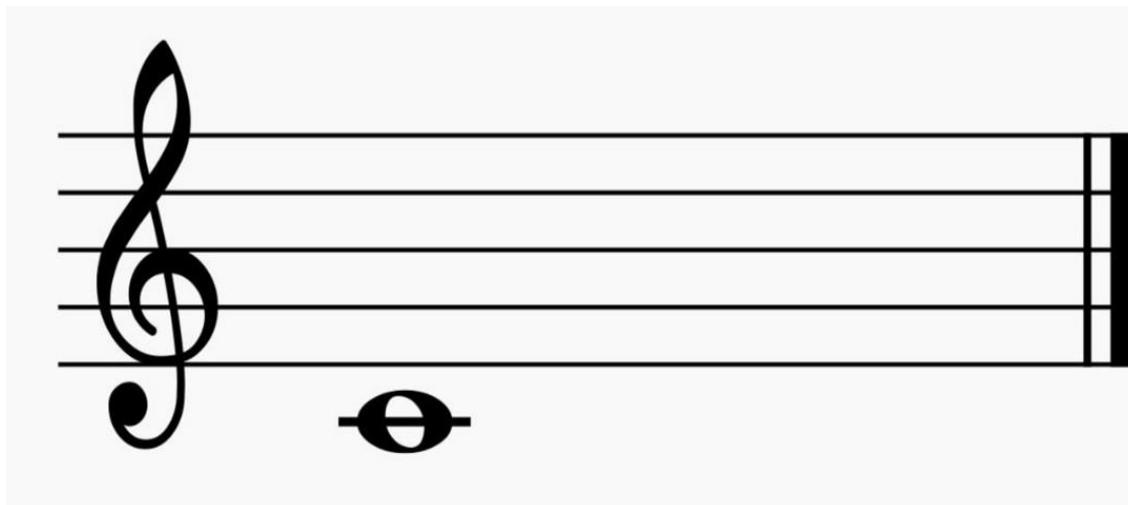


Figura 57 Exemple d'imatge que veu el participant durant les rutines "mostra" i "Stroop". Les notes escrites al pentagrama poden ser: do, re, mi, fa o sol.

Seguint el patró de la prova d'OA, abans i després de la prova en si apareixen un recordatori, primer, i un missatge d'agraïment, després (Figura 58 i Figura 59).

#Doncs bé, ja pots començar!

#Recorda: prem la tecla que correspon a la nota del pentagrama el més ràpid possible

PENTAGRAMA		TECLAT
do	=	c
re	=	d
mi	=	e
fa	=	f
sol	=	g

Figura 58 Missatge que veu el participant durant la rutina "inici", després de la rutina "mostra".

#Moltes gràcies per la teva participació!

#Si ja has fet l'enquesta i la prova d'oïda absoluta la teva col·laboració acaba aquí.

#Reitero, moltes gràcies per la dedicació.

Figura 59 Missatge que veu el participant durant la vuitena i última rutina de la prova de l'efecte Stroop.

Finalment, les dades obtingudes durant la prova s'emmagatzemen automàticament en un llibre de treball, dades que s'han d'analitzar individualment mitjançant el programa Microsoft Excel. Igual que amb l'altra prova, es dissenya una "Macro" que permeti obtenir de manera automàtica l'efecte Stroop i el nombre de respostes correctes i incorrectes de cada participant.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC
	Ass.	Age	Sex	Hand	Foot	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right
1	c	0.955	correcta	0.955	correcta	0.955	correcta	0.955	correcta	0.955	correcta	0.955	correcta	0.955	correcta	0.955	correcta	0.955	correcta	0.955	correcta	0.955	correcta	0.955	correcta	0.955	correcta	0.955	
2	d	0.953	correcta	0.953	correcta	0.953	correcta	0.953	correcta	0.953	correcta	0.953	correcta	0.953	correcta	0.953	correcta	0.953	correcta	0.953	correcta	0.953	correcta	0.953	correcta	0.953	correcta	0.953	
3	e	0.951	correcta	0.951	correcta	0.951	correcta	0.951	correcta	0.951	correcta	0.951	correcta	0.951	correcta	0.951	correcta	0.951	correcta	0.951	correcta	0.951	correcta	0.951	correcta	0.951	correcta	0.951	
4	f	0.948	correcta	0.948	correcta	0.948	correcta	0.948	correcta	0.948	correcta	0.948	correcta	0.948	correcta	0.948	correcta	0.948	correcta	0.948	correcta	0.948	correcta	0.948	correcta	0.948	correcta	0.948	
5	g	0.945	correcta	0.945	correcta	0.945	correcta	0.945	correcta	0.945	correcta	0.945	correcta	0.945	correcta	0.945	correcta	0.945	correcta	0.945	correcta	0.945	correcta	0.945	correcta	0.945	correcta	0.945	
6	h	0.942	correcta	0.942	correcta	0.942	correcta	0.942	correcta	0.942	correcta	0.942	correcta	0.942	correcta	0.942	correcta	0.942	correcta	0.942	correcta	0.942	correcta	0.942	correcta	0.942	correcta	0.942	
7	i	0.939	correcta	0.939	correcta	0.939	correcta	0.939	correcta	0.939	correcta	0.939	correcta	0.939	correcta	0.939	correcta	0.939	correcta	0.939	correcta	0.939	correcta	0.939	correcta	0.939	correcta	0.939	
8	j	0.936	correcta	0.936	correcta	0.936	correcta	0.936	correcta	0.936	correcta	0.936	correcta	0.936	correcta	0.936	correcta	0.936	correcta	0.936	correcta	0.936	correcta	0.936	correcta	0.936	correcta	0.936	
9	k	0.933	correcta	0.933	correcta	0.933	correcta	0.933	correcta	0.933	correcta	0.933	correcta	0.933	correcta	0.933	correcta	0.933	correcta	0.933	correcta	0.933	correcta	0.933	correcta	0.933	correcta	0.933	
10	l	0.930	correcta	0.930	correcta	0.930	correcta	0.930	correcta	0.930	correcta	0.930	correcta	0.930	correcta	0.930	correcta	0.930	correcta	0.930	correcta	0.930	correcta	0.930	correcta	0.930	correcta	0.930	
11	m	0.927	correcta	0.927	correcta	0.927	correcta	0.927	correcta	0.927	correcta	0.927	correcta	0.927	correcta	0.927	correcta	0.927	correcta	0.927	correcta	0.927	correcta	0.927	correcta	0.927	correcta	0.927	
12	n	0.924	correcta	0.924	correcta	0.924	correcta	0.924	correcta	0.924	correcta	0.924	correcta	0.924	correcta	0.924	correcta	0.924	correcta	0.924	correcta	0.924	correcta	0.924	correcta	0.924	correcta	0.924	
13	o	0.921	correcta	0.921	correcta	0.921	correcta	0.921	correcta	0.921	correcta	0.921	correcta	0.921	correcta	0.921	correcta	0.921	correcta	0.921	correcta	0.921	correcta	0.921	correcta	0.921	correcta	0.921	
14	p	0.918	correcta	0.918	correcta	0.918	correcta	0.918	correcta	0.918	correcta	0.918	correcta	0.918	correcta	0.918	correcta	0.918	correcta	0.918	correcta	0.918	correcta	0.918	correcta	0.918	correcta	0.918	
15	q	0.915	correcta	0.915	correcta	0.915	correcta	0.915	correcta	0.915	correcta	0.915	correcta	0.915	correcta	0.915	correcta	0.915	correcta	0.915	correcta	0.915	correcta	0.915	correcta	0.915	correcta	0.915	
16	r	0.912	correcta	0.912	correcta	0.912	correcta	0.912	correcta	0.912	correcta	0.912	correcta	0.912	correcta	0.912	correcta	0.912	correcta	0.912	correcta	0.912	correcta	0.912	correcta	0.912	correcta	0.912	
17	s	0.909	correcta	0.909	correcta	0.909	correcta	0.909	correcta	0.909	correcta	0.909	correcta	0.909	correcta	0.909	correcta	0.909	correcta	0.909	correcta	0.909	correcta	0.909	correcta	0.909	correcta	0.909	
18	t	0.906	correcta	0.906	correcta	0.906	correcta	0.906	correcta	0.906	correcta	0.906	correcta	0.906	correcta	0.906	correcta	0.906	correcta	0.906	correcta	0.906	correcta	0.906	correcta	0.906	correcta	0.906	
19	u	0.903	correcta	0.903	correcta	0.903	correcta	0.903	correcta	0.903	correcta	0.903	correcta	0.903	correcta	0.903	correcta	0.903	correcta	0.903	correcta	0.903	correcta	0.903	correcta	0.903	correcta	0.903	
20	v	0.900	correcta	0.900	correcta	0.900	correcta	0.900	correcta	0.900	correcta	0.900	correcta	0.900	correcta	0.900	correcta	0.900	correcta	0.900	correcta	0.900	correcta	0.900	correcta	0.900	correcta	0.900	
21	w	0.897	correcta	0.897	correcta	0.897	correcta	0.897	correcta	0.897	correcta	0.897	correcta	0.897	correcta	0.897	correcta	0.897	correcta	0.897	correcta	0.897	correcta	0.897	correcta	0.897	correcta	0.897	
22	x	0.894	correcta	0.894	correcta	0.894	correcta	0.894	correcta	0.894	correcta	0.894	correcta	0.894	correcta	0.894	correcta	0.894	correcta	0.894	correcta	0.894	correcta	0.894	correcta	0.894	correcta	0.894	
23	y	0.891	correcta	0.891	correcta	0.891	correcta	0.891	correcta	0.891	correcta	0.891	correcta	0.891	correcta	0.891	correcta	0.891	correcta	0.891	correcta	0.891	correcta	0.891	correcta	0.891	correcta	0.891	
24	z	0.888	correcta	0.888	correcta	0.888	correcta	0.888	correcta	0.888	correcta	0.888	correcta	0.888	correcta	0.888	correcta	0.888	correcta	0.888	correcta	0.888	correcta	0.888	correcta	0.888	correcta	0.888	
25	aa	0.885	correcta	0.885	correcta	0.885	correcta	0.885	correcta	0.885	correcta	0.885	correcta	0.885	correcta	0.885	correcta	0.885	correcta	0.885	correcta	0.885	correcta	0.885	correcta	0.885	correcta	0.885	
26	ab	0.882	correcta	0.882	correcta	0.882	correcta	0.882	correcta	0.882	correcta	0.882	correcta	0.882	correcta	0.882	correcta	0.882	correcta	0.882	correcta	0.882	correcta	0.882	correcta	0.882	correcta	0.882	
27	ac	0.879	correcta	0.879	correcta	0.879	correcta	0.879	correcta	0.879	correcta	0.879	correcta	0.879	correcta	0.879	correcta	0.879	correcta	0.879	correcta	0.879	correcta	0.879	correcta	0.879	correcta	0.879	
28	ad	0.876	correcta	0.876	correcta	0.876	correcta	0.876	correcta	0.876	correcta	0.876	correcta	0.876	correcta	0.876	correcta	0.876	correcta	0.876	correcta	0.876	correcta	0.876	correcta	0.876	correcta	0.876	
29	ae	0.873	correcta	0.873	correcta	0.873	correcta	0.873	correcta	0.873	correcta	0.873	correcta	0.873	correcta	0.873	correcta	0.873	correcta	0.873	correcta	0.873	correcta	0.873	correcta	0.873	correcta	0.873	
30	af	0.870	correcta	0.870	correcta	0.870	correcta	0.870	correcta	0.870	correcta	0.870	correcta	0.870	correcta	0.870	correcta	0.870	correcta	0.870	correcta	0.870	correcta	0.870	correcta	0.870	correcta	0.870	
31	ag	0.867	correcta	0.867	correcta	0.867	correcta	0.867	correcta	0.867	correcta	0.867	correcta	0.867	correcta	0.867	correcta	0.867	correcta	0.867	correcta	0.867	correcta	0.867	correcta	0.867	correcta	0.867	
32	ah	0.864	correcta	0.864	correcta	0.864	correcta	0.864	correcta	0.864	correcta	0.864	correcta	0.864	correcta	0.864	correcta	0.864	correcta	0.864	correcta	0.864	correcta	0.864	correcta	0.864	correcta	0.864	
33	ai	0.861	correcta	0.861	correcta	0.861	correcta	0.861	correcta	0.861	correcta	0.861	correcta	0.861	correcta	0.861	correcta	0.861	correcta	0.861	correcta	0.861	correcta	0.861	correcta	0.861	correcta	0.861	
34	aj	0.858	correcta	0.858	correcta	0.858	correcta	0.858	correcta	0.858	correcta	0.858	correcta	0.858	correcta	0.858	correcta	0.858	correcta	0.858	correcta	0.858	correcta	0.858	correcta	0.858	correcta	0.858	
35	ak	0.855	correcta	0.855	correcta	0.855	correcta	0.855	correcta	0.855	correcta	0.855	correcta	0.855	correcta	0.855	correcta	0.855	correcta	0.855	correcta	0.855	correcta	0.855	correcta	0.855	correcta	0.855	
36	al	0.852	correcta	0.852	correcta	0.852	correcta	0.852	correcta	0.852	correcta	0.852	correcta	0.852	correcta	0.852	correcta	0.852	correcta	0.852	correcta	0.852	correcta	0.852	correcta	0.852	correcta	0.852	
37	am	0.849	correcta	0.849	correcta	0.849	correcta	0.849	correcta	0.849	correcta	0.849	correcta	0.849	correcta	0.849	correcta	0.849	correcta	0.849	correcta	0.849	correcta	0.849	correcta	0.849	correcta	0.849	
38	an	0.846	correcta	0.846	correcta	0.846	correcta	0.846	correcta	0.846	correcta	0.846	correcta	0.846	correcta	0.846	correcta	0.846	correcta	0.846	correcta	0.846	correcta	0.846	correcta	0.846	correcta	0.846	
39	ao	0.843	correcta	0.843	correcta	0.843	correcta	0.843	correcta	0.843	correcta	0.843	correcta	0.843	correcta	0.843	correcta	0.843	correcta	0.843	correcta	0.843	correcta	0.843	correcta	0.843	correcta	0.843	
40	ap	0.840	correcta	0.840	correcta	0.840	correcta	0.840	correcta	0.840	correcta	0.840	correcta	0.840	correcta	0.840	correcta	0.840	correcta	0.840	correcta	0.840	correcta	0.840	correcta	0.840	correcta	0.840	
41	aq	0.837	correcta	0.837	correcta	0.837	correcta	0.837	correcta	0.837	correcta	0.837	correcta	0.837	correcta	0.837	correcta	0.837	correcta	0.837	correcta	0.837	correcta	0.837	correcta	0.837	correcta	0.837	
42	ar	0.834	correcta	0.834	correcta	0.834	correcta	0.834	correcta	0.834	correcta	0.834	correcta	0.834	correcta	0.834	correcta	0.834	correcta	0.834	correcta	0.834	correcta	0.834	correcta	0.834	correcta	0.834	
43	as	0.831	correcta	0.831	correcta	0.831	correcta	0.831	correcta	0.831	correcta	0.831	correcta	0.831	correcta	0.831	correcta	0.831	correcta	0.831	correcta	0.831	correcta	0.831	correcta	0.831	correcta	0.831	
44	at	0.828	correcta	0.828	correcta	0.828	correcta	0.828	correcta	0.828	correcta	0.828	correcta	0.828	correcta	0.828	correcta	0.828	correcta	0.828	correcta								

Figura 60 Dades emmagatzemades de cada participant de la prova de l'efecte Stroop, un cop fet les anàlisis pertinents.

5.3 Anàlisi de resultats

Amb les dades obtingudes en ambdues proves s'ha procedit a fer l'anàlisi descriptiva de la mostra i l'anàlisi descriptiva dels resultats. D'aquests dos apartats s'ha realitzat una taula resum de les variables. També s'ha procedit a fer l'anàlisi comparativa dels resultats considerant les variables dos a dos tot calculant el seu coeficient de correlació de Pearson (r).

El coeficient de correlació de Pearson és un índex que mesura la relació lineal entre dues variables quantitatives aleatòries X i Y , independentment de l'escala de mesura de les variables (Wikipedia, 2020). Aquest coeficient és el quocient de la seva covariància pel producte de les seves desviacions estàndard:

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

on σ_{XY} és la covariància de (X, Y) , i σ_X i σ_Y les desviacions estàndard de les distribucions marginals. El valor del coeficient de correlació de Pearson varia dins l'interval $[-1, +1]$; essent 1 una relació directa, és a dir, una dependència total de les dues variables, i -1 una relació inversa, també amb dependència total. Si $r = 0$, no existeix cap relació lineal.

En el cas que existeixi correlació entre les dues variables, s'ha ajustat un model lineal a les dades i s'ha calculat el seu coeficient de determinació (R^2). Aquest coeficient determina el grau d'ajust de la recta de regressió als valors de la mostra, és a dir, la proporció de variabilitat de la variable depenent Y explicada per la variable independent X (Wikipedia, 2020). En el cas d'una regressió lineal simple, com és el cas d'aquest treball, el coeficient de determinació és igual al quadrat del coeficient de correlació de Pearson:

$$R^2 = \frac{\sigma_{XY}^2}{\sigma_X^2 \cdot \sigma_Y^2}$$

on σ_{XY} és la covariància de (X, Y) , i σ_X^2 i σ_Y^2 la variància de la de la variable X i Y , respectivament. El valor del coeficient de determinació varia entre l'interval $[0, 1]$; si $R^2 = 0$, la variable predictora (X) no té cap capacitat de predicció de la variable criteri (Y), i si $R^2 = 1$, la variable predictora explicaria tota la variació de la variable criteri i les prediccions no tindrien error.

Tots aquests càlculs s'han realitzat mitjançant el programa Microsoft Excel.

Pel que fa a les anàlisis de variables categòriques, no contínues, s'han realitzat diagrames de caixes per a veure si s'aprecien diferències entre les mitjanes i les distribucions de les dades dels diferents grups. En cas afirmatiu, s'ha procedit a la comparació de mitjanes entre les variables. Aquesta comparació de mitjanes

s'ha fet amb Anàlisi de la Variància (ANOVA), mitjançant el programa estadístic JMP Pro 14. La variància és una mesura de dispersió d'una variable aleatòria X respecte de la seva mitjana \bar{X} , i correspon al quadrat de la desviació estàndard (Wikipedia, 2020). També es pot calcular com:

$$v = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + \dots + (x_N - \bar{x})^2}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

on v és la variància, x_i són les dades de la mostra, \bar{x} és la mitjana aritmètica de les dades de la mostra i N el número de dades o observacions que conté la mostra. Tanmateix, per poder aplicar l'ANOVA cal comprovar 3 supòsits importants:

- que les variables siguin aleatòries i independents entre sí;
- que les mostres segueixin una distribució normal (en forma de campana de Gauss);
- que les mostres tinguin la mateixa variància, fet que s'anomena homoscedasticitat. Les mostres han de ser, per tant, homoscedàstiques.

Donada la naturalesa de l'obtenció de les dades (enquesta i proves pràctiques), es pot afirmar que les variables són aleatòries i independents entre sí, donant lloc al compliment del primer supòsit.

Per comprovar que les mostres segueixin una distribució normal s'ha realitzat la Prova de Shapiro-Wilk, que consisteix en validar o rebutjar la hipòtesi nul·la (H_0), que estableix que la mostra segueix una distribució normal. Per a fer-ho es calcula probabilitat que el valor de la prova sigui més petit que l'estadístic W , un paràmetre de la prova ideada per Shapiro-Wilk. S'estableix un llindar o nivell de significació (α) de 0,05 i si el valor de la probabilitat és major que 0,05, s'accepta la hipòtesi nul·la i es pot dir que la mostra segueix una distribució normal. Per contra, si la probabilitat és menor que 0,05, llavors es rebutja la H_0 i no es pot dir que la mostra segueixi una distribució normal.

Si la mostra no seguís una distribució normal, caldria transformar les dades per tal que segueixin una distribució normal, acció que es fa aplicant la transformació de Johnson Sb. Un cop feta la transformació, es torna a fer la prova de Shapiro-Wilk per validar si la mostra transformada té realment una distribució normal.

L'altre supòsit que cal comprovar és el d'homoscedasticitat, cosa que es fa mitjançant la Prova de Bartlett. En aquesta prova, si el valor de la probabilitat és més gran que 0,05, s'accepta la hipòtesi nul·la (H_0) que diu que les variàncies de les mostres són equivalents, i per tant, són dues mostres homoscedàstiques.

Si les mostres compleixen els tres supòsits, es procedeix a fer l'ANOVA. Per tal que hi hagi diferències estadísticament significatives entre les mostres, el p-Valor de l'anàlisi de la variància ha de ser menor que el nivell de significació, establert en 0,05. També es realitza la Prova t-Student per comparar les variables per parelles.

6 RESULTATS I DISCUSSIÓ

6.1 Anàlisi descriptiva de la mostra

Aplicant l'estadística descriptiva a la mostra, dels 45 participants de la part pràctica d'aquest treball destaca una majoria de dones (Figura 61).

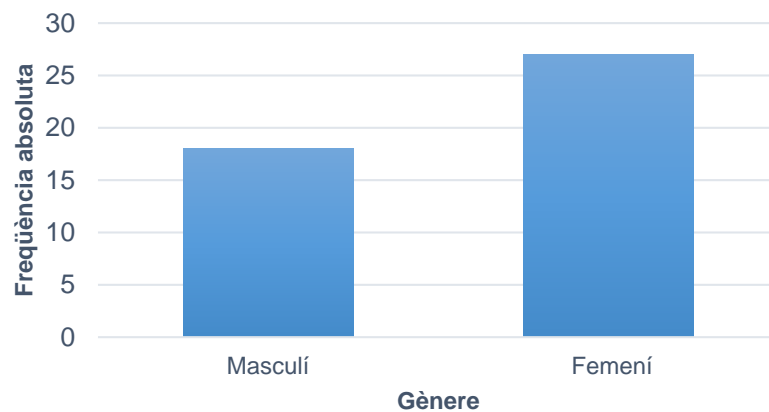


Figura 61 Histograma de gènere dels participants de la part pràctica.

El rang d'edat dels subjectes és d'11 a 59 anys, amb més participació en els grups de 15 a 20 anys i de 45 a 50 (Figura 62).

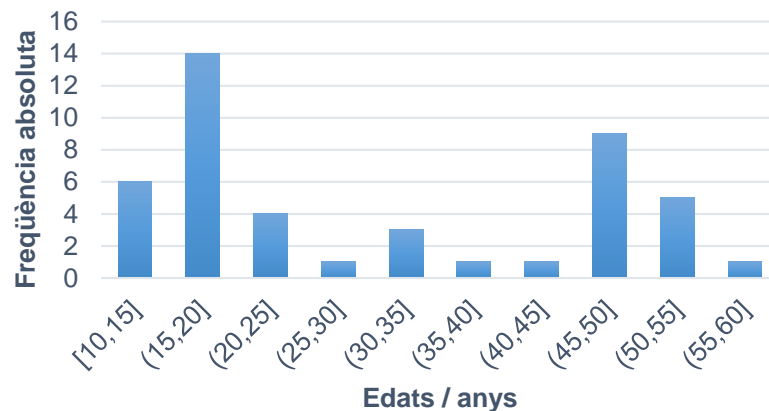


Figura 62 Histograma d'edats dels participants.

La primera llengua dels participants en tots els casos és atonal. Alguns participants tenen més d'una primera llengua, fet que causa que la suma de freqüència absoluta de totes les llengües sobrepassi el nombre 45.

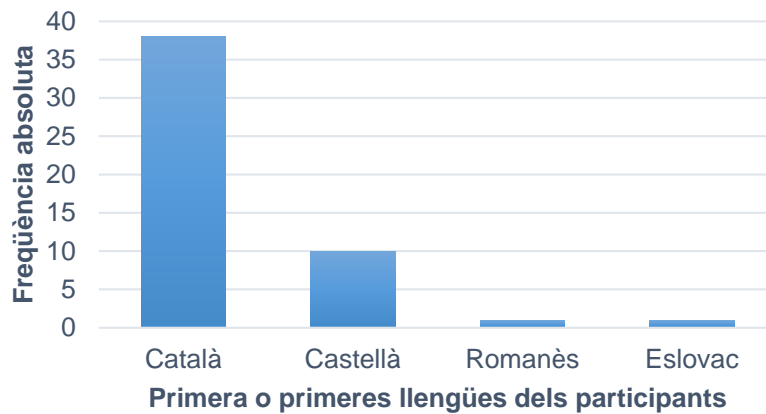


Figura 63 Histograma de la primera llengua dels participants.

Tots els participants tenen formació musical, fet que es va tenir en compte a l'hora de contactar-hi. La gran majoria va començar els seus estudis musicals entre els 3 i els 6 anys (Figura 64).

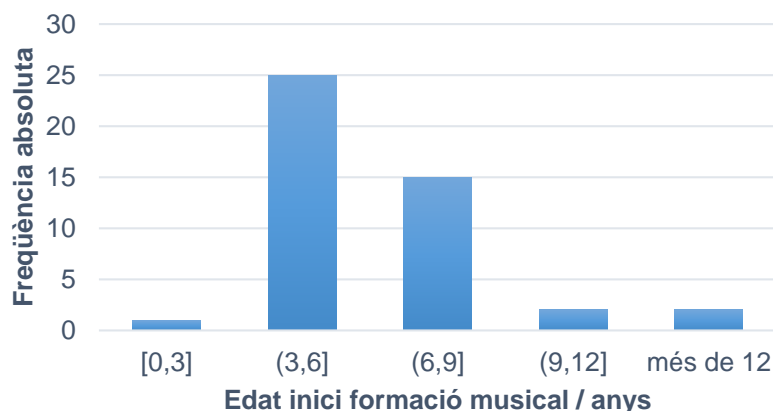


Figura 64 Histograma de l'edat d'inici de la formació musical dels participants.

Dels participants a la part pràctica, molts són actualment estudiants de Grau Professional, d'altres han realitzat els estudis superiors i s'hi dediquen professionalment, i un tercer grup nombrós té una dedicació actual a la música de forma amateur (Figura 65).

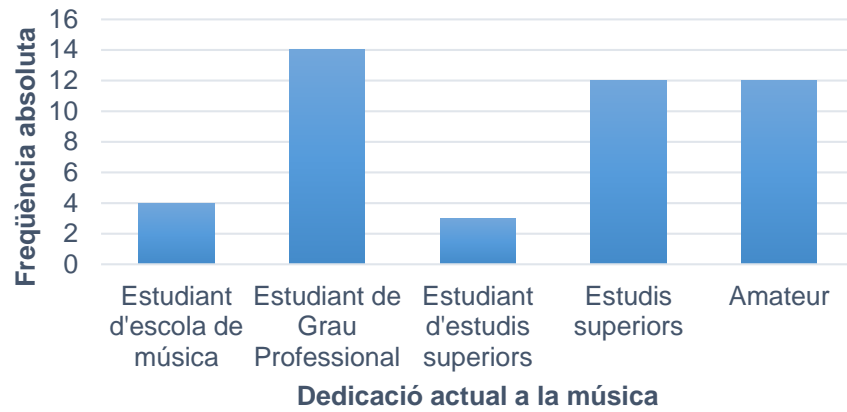


Figura 65 Histograma de la dedicació actual a la música dels participants.

44 dels subjectes enquestats saben què és l'OA, mentre que només un cas desconeix el que és. Tanmateix, no tots sabrien dir si tenen OA o no (Figura 66).

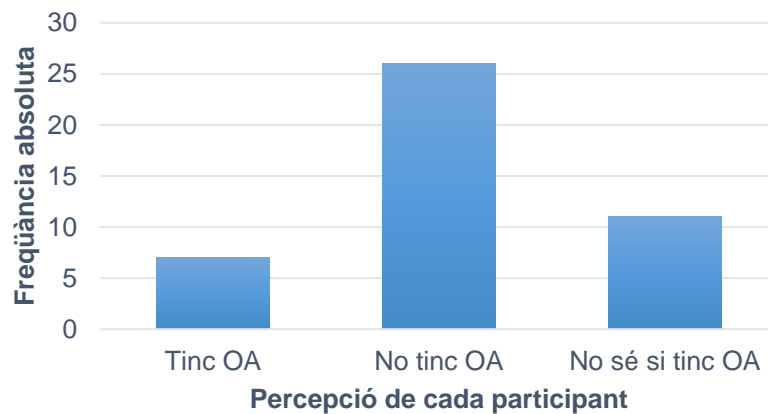


Figura 66 Histograma de la percepció de cada participant sobre si tenen OA o no.

Pel que fa a la presència d'OA a les seves famílies, la major part dels participants ignoren si tenen familiars amb OA (Figura 67). D'altres afirmen que en tenen: “la meva mare i el meu germà”, “la mare”, “el meu germà o germana”, “un cosí germà”, “la meva filla”, “una neboda segona”.

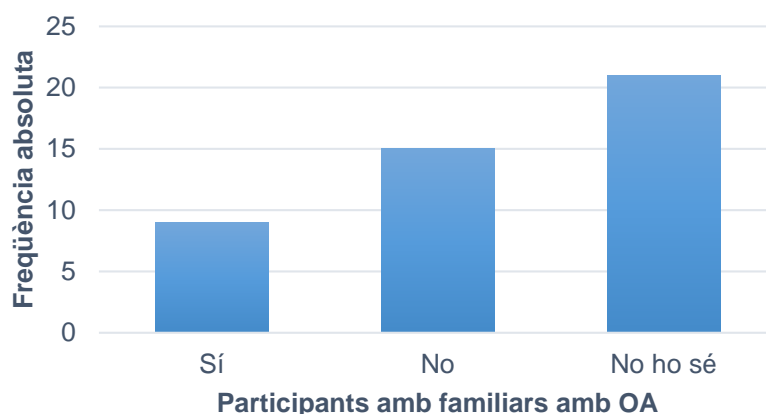


Figura 67 Histograma de la presència de familiars amb OA de cada participant.

6.2 Anàlisi descriptiva dels resultats

Centrem-nos primer en la prova d'OA. Es pot observar que sense acceptar errors de cap tipus, pocs participants arriben a obtenir una puntuació alta a la prova (Figura 68). De fet, cap participant aconsegueix sobrepassar el 85 % d'encerts, el llindar a partir del qual s'ha considerat inicialment possessor d'OA, segons Deutsch et al. (2006).

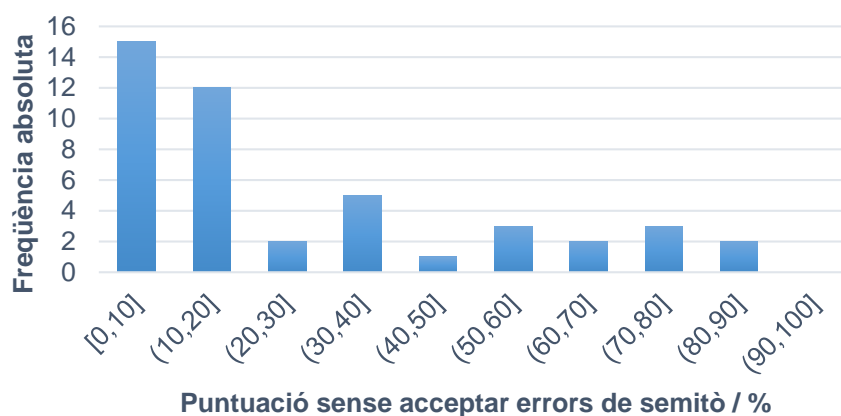


Figura 68 Histograma de la puntuació dels participants a la prova d'OA. En aquesta manera de puntuar no s'accepten errors, ni tan sols de semitò.

En canvi, acceptant els errors de semitò com a resposta correcta (Baharloo et al., 1998; Deutsch, 2014), l'acompliment de la prova millora en gairebé tots els participants. Ja hi ha 5 persones que obtenen una puntuació per sobre del 85 % (Figura 69).

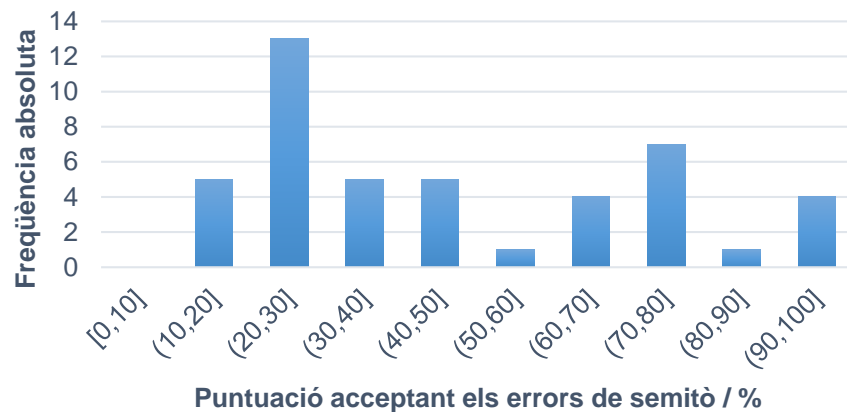


Figura 69 Histograma de la puntuació dels participants en la prova d'OA acceptant els errors de semitò com a resposta correcta.

Així doncs, essent estrictes, a la mostra de la part pràctica d'aquest treball la prevalença de possessors d'OA és del 0 %. Ara bé, si s'accepten els errors de semitò com a resposta correcta, la prevalença d'OA a la mostra és de l'11,11 %.

El nul percentatge de participants amb OA sense acceptar cap tipus d'errors s'explicaria perfectament d'acord amb el fet que a la població general la prevalença de posseïdors d'OA va del 0,01 % a l'1 % Deutsch (2014). Per altra banda, l'11,11 % acceptant els errors de semitò també s'explicaria pel fet que la prova s'ha passat a una mostra prèviament seleccionada que comptés amb formació musical, no a la població general de manera aleatòria.

No obstant, tenir en compte només 5 persones com OA en aquesta part pràctica no seria massa significatiu a l'hora de fer les anàlisis, per la qual cosa s'ha decidit rebaixar el llindar d'OA i considerar que un individu té OA a partir del 70 % d'encerts acceptant errors de semitò. D'aquesta manera, però, s'inclourien persones que han informat tenir OR completament, tot i que la tinguin molt ben desenvolupada i puguin assolir un molt bon resultat amb aquesta. Altrament, també s'inclourien participants que afirmen tenir OA però en el test dissenyat en aquest treball no han arribat a la puntuació mínima per a ser classificats com a tal: el 85 % d'encerts. Aquest fenomen podria donar-se per un fals coneixement de les pròpies habilitats (cosa poc probable tenint en compte que alguns d'aquests es dediquen professionalment a la música), per la naturalesa de la prova (l'índex d'alçada de les diferents notes, el tipus de so, en aquest cas un to pur, d'ona sinusoidal i les instruccions de la prova), possibles problemes amb els

auriculars o els dispositius de so, o bé per altres factors. L'acompliment de la prova depèn en part de l'entorn auditiu actual, el passat i el més recent, com ara l'entrenament musical, el llenguatge, les experiències acústiques, etc. El temps des de l'última classe o assaig musical també afecta, per no mencionar l'ús de diferents afinacions (p.ex. l'afinació barroca, que és més baixa que el la 440 Hz). A més a més, la fatiga o l'estrès poden influir en l'acompliment de tasques d'etiquetatge de tons, així com en el grau d'automatisme. Així mateix, és plausible que ja d'entrada hi hagi diferències considerables entre individus en el nivell d'OA.

En definitiva, rebaixant el llindar d'OA i acceptant els errors de semitò com a encerts, la mostra compta amb 12 persones considerades possessores d'OA, que són les que es tindran en compte en les anàlisis comparatives.

Quant a la mitjana de temps de resposta dels participants en aquesta prova, la majoria han tardat entre 4 i 5 s a clicar la imatge pertinent (Figura 70). Val a dir que els participants que tenen una mitjana de temps de resposta més baixa (fins a 3 s de mitjana) no tenen OA, així que es podria donar el cas que hagin respost ràpid sense parar massa atenció a la resposta escollida.

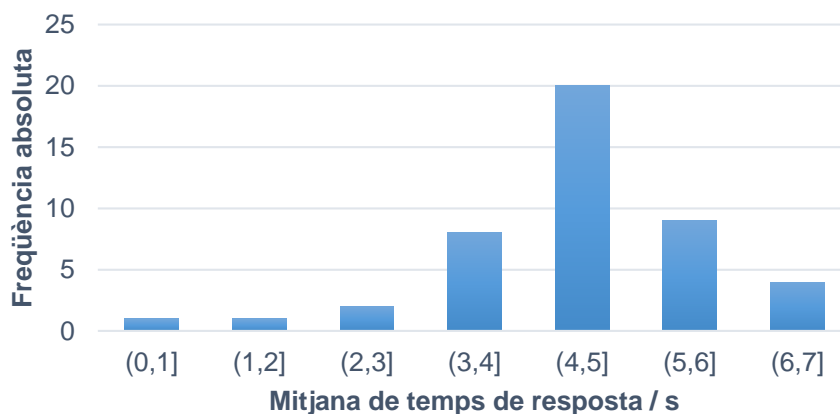


Figura 70 Histograma de la mitjana de temps de resposta dels participants a la prova d'OA.

Respecte de la prova de l'efecte Stroop, s'ha detectat que 5 participants han comès més de 15 errors d'un total de 40 preguntes. Atès que és un percentatge anormalment elevat de respostes incorrectes, fet causat segurament per problemes tècnics, s'ha decidit eliminar aquests 5 participants de la prova de l'efecte Stroop i de les anàlisis comparatives en les quals una de les variables forma part de la prova de l'efecte Stroop, per tal de no distorsionar les anàlisis.



Figura 71 Histograma de les respostes incorrectes dels participants a la prova de l'efecte Stroop.

En la prova de l'efecte Stroop, de la diferència entre la mitjana de temps de les respostes incongruents i les congruents s'obté l'efecte Stroop. Curiosament, aquesta diferència ha sortit en alguns casos negativa, indicant que el participant en qüestió ha tardat menys en respondre quan es presentaven estímuls incongruents que quan es presentaven els congruents.

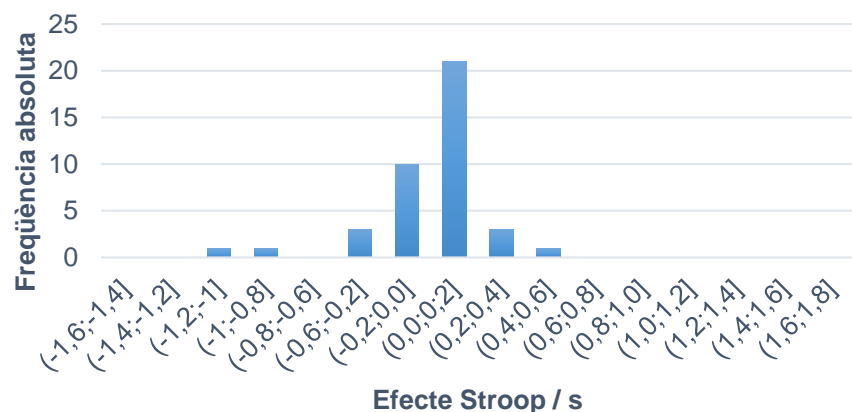


Figura 72 Histograma de l'efecte Stroop dels participants. L'efecte Stroop s'obté de la diferència entre la mitjana de temps de resposta dels estímuls incongruents i la mitjana de temps de resposta dels estímuls congruents. Els valors negatius indiquen una major rapidesa en respondre els estímuls incongruents que en els congruents.

6.2.1 Taula resum de les variables

[illegible]

6.3 Anàlisi comparativa dels resultats

En aquest apartat s'ha analitzat, entre altres comparacions, si el gènere influeix a la possessió d'OA, comparant el gènere amb la puntuació en la prova d'OA acceptant errors de semitò però només amb els 12 individus amb OA. Com que només una variable és contínua, s'ha elaborat un diagrama de caixes dels dos grups (dones i homes), Figura 73.

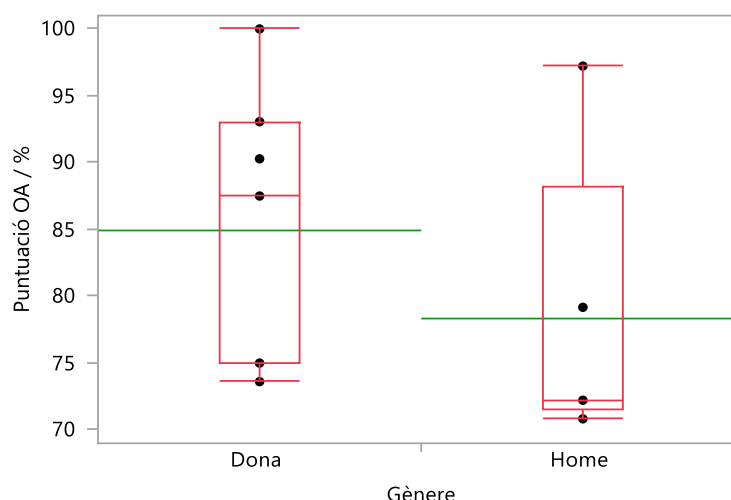


Figura 73 Diagrama de caixes del gènere dels 12 participants amb OA i la seva puntuació a la prova d'OA acceptant errors de semitò. La línia verda indica la mitjana de cada grup, mentre que les caixes indiquen els percentils 0 %, 25 %, 50 %, 75 % i 100 % mitjançant les línies horitzontals des de baix fins a dalt, respectivament.

Després s'ha mirat si les diferències entre ambdues mitjanes són estadísticament significatives. Per a fer-ho, cal aplicar una ANOVA i, per tant, cal comprovar primer si les variables compleixen els supòsits: ser aleatòries i independents, seguir una distribució normal i ser homoscedàstiques.

Els valors de la puntuació en la prova d'OA acceptant errors de semitò de les dones segueixen una distribució normal (Figura 74), doncs la probabilitat que el valor de la prova sigui més petit que l'estadístic W supera el llindar establert (α) de 0,05. En aquest cas $W = 0,886379$ i $\text{Prob} < W = 0,2563$.

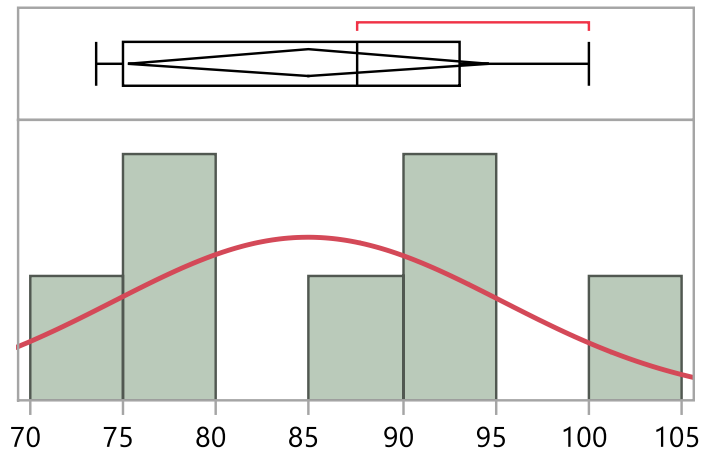


Figura 74 Histograma dels valors de la puntuació en la prova d'OA acceptant errors de semitò de les dones que s'ajusta a una distribució normal, representada amb una corba vermella ($n = 7$).

En canvi, pel que fa a la distribució de la puntuació en la prova d'OA acceptant errors de semitò dels homes, el valor de la prova Shapiro-Wilk no supera el llindar establert ($W = 0,756070$ i $\text{Prob} < W = 0,0338$), Figura 75. Per aquesta raó, s'ha d'aplicar la transformació de Johnson Sb i tornar a comprovar si la distribució dels valors és normal. En aquest cas, les dades transformades sí que segueixen una distribució normal: $W = 0,954129$ i $\text{Prob} < W = 0,7666$ (Figura 76).

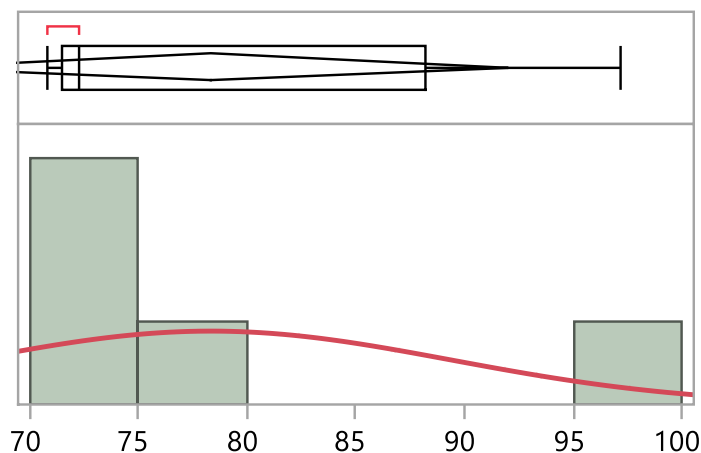


Figura 75 Histograma dels valors de la puntuació en la prova d'OA acceptant errors de semitò dels homes ($n = 5$) que no s'ajusta a una distribució normal, representada amb una corba vermella.

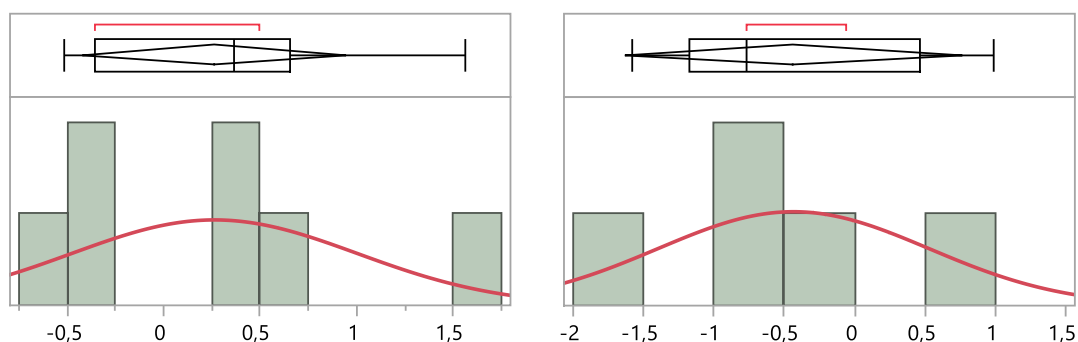


Figura 76 Histograma dels valors de la puntuació en la prova d'OA acceptant errors de semitò de les 7 dones (esquerra) i dels 5 homes (dreta) que s'ajusta a una distribució normal, representada amb una corba vermella, un cop feta la transformació de Johnson.

Per tant, ja es pot comprovar l'homoscedasticitat d'ambdós grups mitjançant la Prova de Bartlett. P-valor (0,9052) és superior al llindar establert (α) de 0,05 i per tant, les variàncies són iguals, essent les dues mostres homoscedàstiques (Figura 77).

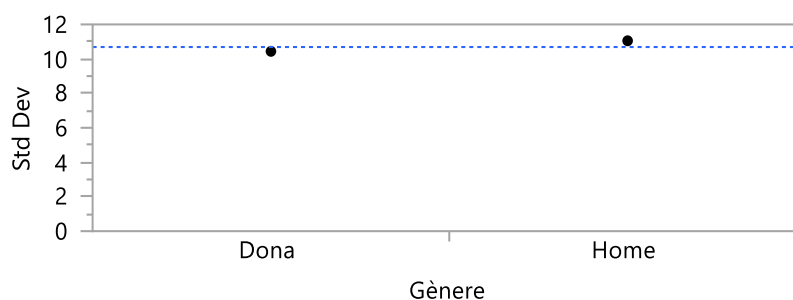


Figura 77 Desviacions estàndard dels dos grups que es comparen (7 dones i 5 homes). La desviació estàndard equival a l'arrel quadrada positiva de la variància, valor pel qual es comprova l'homoscedasticitat.

Un cop complets els dos supòsits es poden comparar les mitjanes d'ambdós grups per determinar si les diferències són estadísticament significatives. S'executa la Prova t-Student que ens indica que les diferències entre grups no són estadísticament significatives. Això ens permetria validar la hipòtesi 1 del treball que pressuposa, igual que en altres treballs anteriors (Loui, 2014), que el gènere no afecta a la possessió d'OA. És a dir, la prevalença d'OA és la mateixa entre els homes i les dones.

Pel que fa a la segona hipòtesi, sovint s'ha tractat l'OA i l'OR com poblacions diferents. Ara bé, també podria tractar-se d'un gradient continu. Molts estudis assumeixen nivells intermedis entre OA i OR, com els Quasi-OA, mencionats per Bachem (1937), o diferents nivells dins de l'OA, els diferents grups dels quals parla Baharloo et al. (1998), des de l'OA-1 fins a l'OA-4. Així doncs, la dicotomia no és tan clara. És més, els valors de la puntuació de la prova d'OA en aquesta part pràctica són continus; el llindar a partir del qual s'ha considerat OA s'ha fixat arbitràriament i, de fet, s'ha hagut de modificar com s'ha comentat prèviament.

En aquest apartat s'ha analitzat la percepció dels participants considerats com OA de la seva oïda ("tenir OA", "no tenir OA" i "no saber si es té OA") i s'ha comparat a través d'un diagrama de caixes amb el seus resultats a la prova d'OA acceptant errors de semitò (Figura 78).

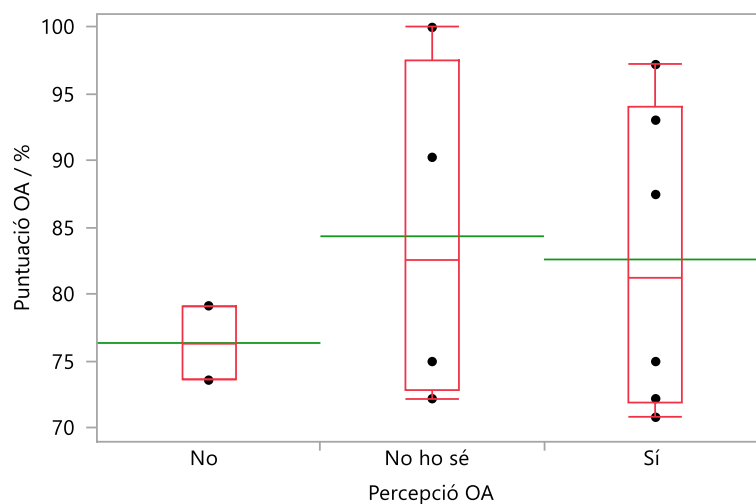


Figura 78 Diagrama de caixes de la percepció dels participants amb OA (n = 12) de la seva oïda i la seva puntuació en la prova d'OA acceptant errors de semitò. La línia verda indica la mitjana de cada grup.

Les mitjanes entre grups són diferents però, aplicant el mateix procediment que en la comparació de mitjanes del gènere (comprovant que els valors dels tres grups segueixen una distribució normal i que les mostres són homoscedàstiques), estadísticament parlant, no presenten diferències significatives.

Curiosament, al fer el mateix procediment amb tota la mostra (n = 45), les mitjanes entre grups (Figura 79) sí que presenten diferències estadísticament significatives. Entre les mitjanes dels grups "No ho sé" i "Sí" no hi ha diferències

estadísticament significatives, però, aquestes existeixen entre ambdós grups i el grup “No”.

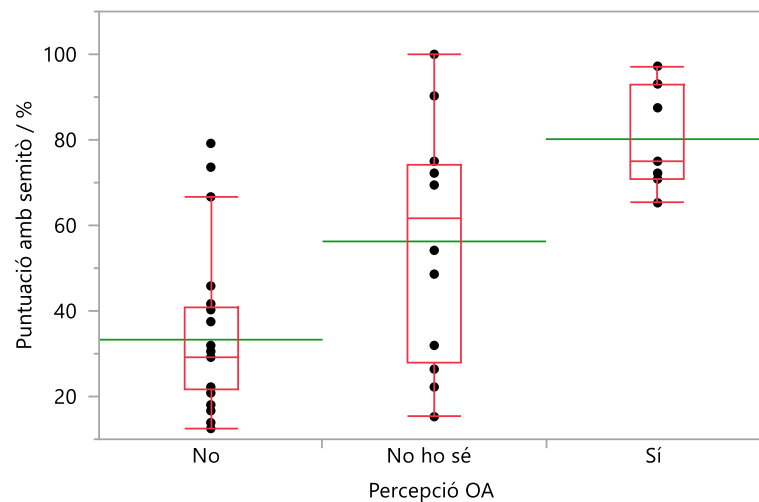


Figura 79 Diagrama de caixes de la percepció dels participants (n = 45) de la seva oïda i la seva puntuació en la prova d'OA acceptant errors de semitò. La línia verda indica la mitjana de cada grup.

Malgrat no trobar diferències estadísticament significatives en el primer diagrama, en podem observar certs fenòmens. Primerament, cal destacar que alguns dels participants afirmen no tenir OA, tot i estar inclosos en els 12 participants considerats com OA. Aquest fet, causat pel rebaixament del llindar d'OA, s'ha tingut en compte i ha estat comentat prèviament en l'apartat de l'anàlisi descriptiva dels resultats. En segon lloc, hi ha dispersió en la puntuació dels individus que afirmen tenir OA. És a dir, no tots tenen la mateixa puntuació i es pot remarcar que alguns dels participants “auto classificats” com OA han obtingut fins i tot una puntuació inferior a individus “auto classificats” com OR. Finalment, en tercer lloc, alguns dels participants desconeixen si posseeixen OA, fet que denotaria que potser la diferència entre OR i OA no és tan clara. Fins i tot, en el segon diagrama, les diferències entre mitjanes dels que es cataloguen com “Sí OA” i els “No ho sé” no són estadísticament significatives.

Això ens duria a plantejar-nos també el fet que existeixi una classificació en dos grups diferenciats però amb certes excepcions entre ambdós grups. La literatura menciona alguns individus amb OR, anomenats Quasi-OA (Bachem, 1937), que són capaços d'interioritzar una referència a la memòria a llarg termini, per exemple, certes notes, i a partir d'aquestes poder establir relacions d'interval i identificar moltes altres notes amb gran exactitud. Val a dir que un dels

participants va remarcar que aquest és el seu cas, tot i explicar que en la prova d'oïda absoluta plantejada en el treball el temps limitant va minimitzar l'ús d'aquesta estratègia, tal com es pretenia amb el disseny utilitzat.

Unes altres variables a analitzar són l'efecte Stroop i la puntuació a la prova d'OA. En base a estudis previs (Greber et al., 2018; Leipold, Greber, Sele, et al., 2019), la hipòtesi 3 suggereix que l'OA no es pot reprimir encara que sigui perjudicial per determinades tasques, és a dir, que és una habilitat automàtica. Aquesta hipòtesi es validaria comprovant si existeix una correlació positiva entre l'efecte Stroop i la puntuació en la prova d'OA, car un major efecte Stroop significaria una major interferència quan en la prova de l'efecte Stroop es presenten estímuls incongruents, i aquesta major interferència succeiria si el subjecte en qüestió parés automàticament més atenció a l'àudio que a la imatge. Per consegüent, s'ha calculat el coeficient de correlació de Pearson entre l'efecte Stroop i la puntuació en la prova d'OA acceptant errors de semitò. Atès que el coeficient de correlació (r) és 0,152, s'ha intentat ajustar un model lineal a les dades (Figura 80), però aquest solament explicaria un 2,3 % de la variabilitat ($R^2 = 0,023$).

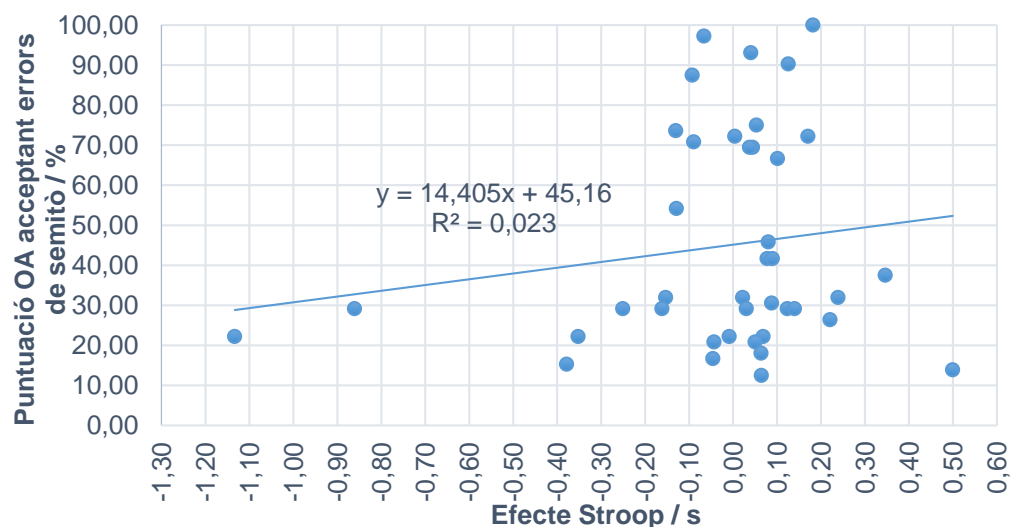


Figura 80 Diagrama de dispersió de l'efecte Stroop i la puntuació de la prova d'OA acceptant errors de semitò dels participants ($n = 40$).

Per això s'ha procedit a calcular el coeficient de correlació de Pearson amb només els 10 subjectes amb OA (no són 12 perquè dos d'aquests s'han eliminat

per qüestions tècniques quan s'analitza l'efecte Stroop). En aquest cas $r = 0,256$, i la qualitat d'ajustament del model lineal a les dades (Figura 81) no és gaire superior que amb els 45 participants ($R^2 = 0,055$).

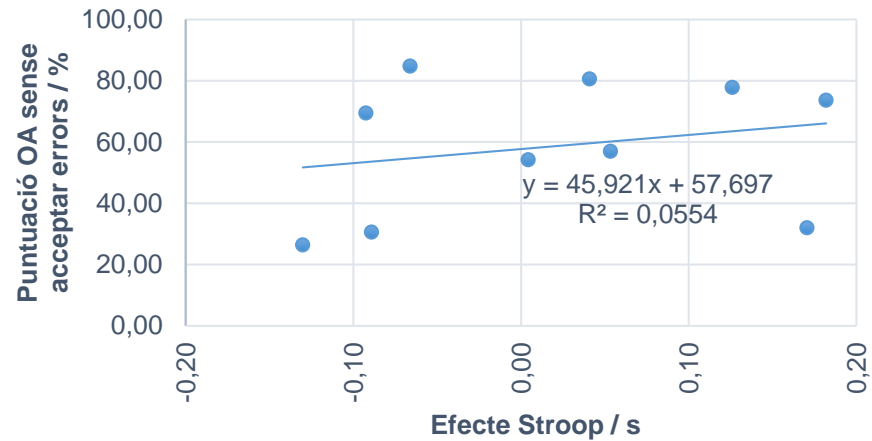


Figura 81 Diagrama de dispersió de l'efecte Stroop i la puntuació de la prova d'OA acceptant errors de semitò, tenint en compte només els 10 participants amb OA.

A l'haver-hi certa correlació, per molt que sigui baixa, s'ha classificat la mostra en dos grups (Figura 82) – individus amb OA i individus amb OR – i s'ha comprovat si hi ha diferències entre les mitjanes del seu efecte Stroop i si aquestes diferències són estadísticament significatives. Per calcular-ho s'ha seguit el mateix procediment que amb les comparatives anteriors.

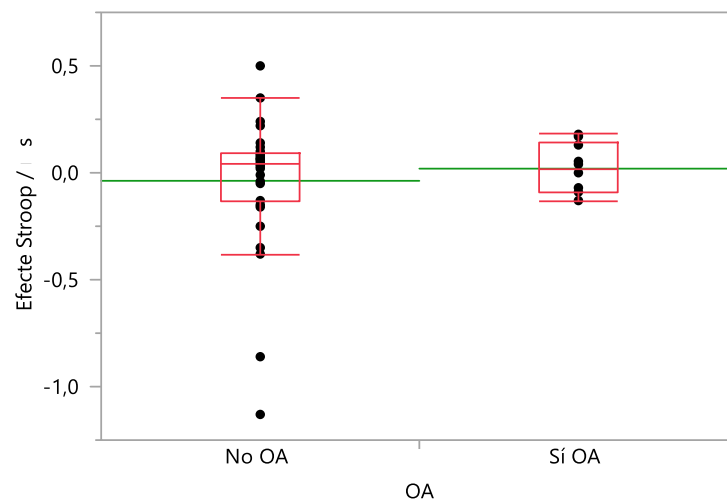


Figura 82 Diagrama de caixes dels participants sense OA i amb OA ($n = 40$) i el seu efecte Stroop. La línia verda indica la mitjana grups de cada grup, mentre que les caixes indiquen els percentils (0 %, 25 %, 50 %, 75 % i 100 %). Els valors per sota i sobre els extrems de la caixa s'han considerat com valors anòmals.

El diagrama de caixes denota que hi ha una minsa diferència entre les mitjanes, lleugerament superior pel que fa al grup “Sí OA” però s'aplicaria l'ANOVA per

veure si és estadísticament significativa. Prèviament es comproven els supòsits que la distribució de les dades sigui normal (en el cas dels individus sense OA, el p-valor de la prova Shapiro-Wilk és inferior a 0,05 i s'ha de fer una transformació de Johnson) i que les dues mostres siguin homoscedàstiques, i seguidament es fa l'ANOVA. La prova t d'Student indica que les diferències entre les mitjanes no són estadísticament significatives.

Això, juntament amb la baixa correlació obtinguda anteriorment, no ens permetria validar la hipòtesi 3, que suggeria que els individus amb OA tenien un major efecte Stroop. Aquest fet podria donar-se o bé perquè l'OA no fos un automatisme, o bé, i més probablement, per la naturalesa de la prova presentada als participants. Pel que fa a la primera explicació, seria possible que l'OA es pogués reprimir si es parés més atenció a una altra tasca (Greber et al., 2018). A favor de la segona opció, però, val a dir que alguns individus han remarcat tenir dificultats a l'hora de relacionar la nota de la imatge amb la tecla corresponent al teclat de l'ordinador, ja que la tecla equival al nom de la nota en nomenclatura musical anglesa. Aquesta nomenclatura pot resultar molt familiar depenent de l'instrument tocat o del nivell d'estudis musicals però pot ser desconeguda per algunes persones amb formació musical. També cal destacar que un dels participants amb OR ha informat que, a l'haver-hi només 5 possibles notes a escollir, identificant les notes dels extrems ràpidament ha endevinat el to de la resta de notes. Llavors, sabent la nota escoltada, els estímuls incongruents també li han generat confusió, augmentant així l'efecte Stroop per molt que tingui OR.

Referent a la hipòtesi 4, s'ha buscat una correlació entre la mitjana de temps de resposta en la prova d'OA i la puntuació en la prova d'OA acceptant errors de semitò ($n = 45$). El coeficient de correlació de Pearson és $r = 0,228$, i el model lineal ajustat (Figura 83) explicaria només un 5,2% de la variabilitat de la mostra.

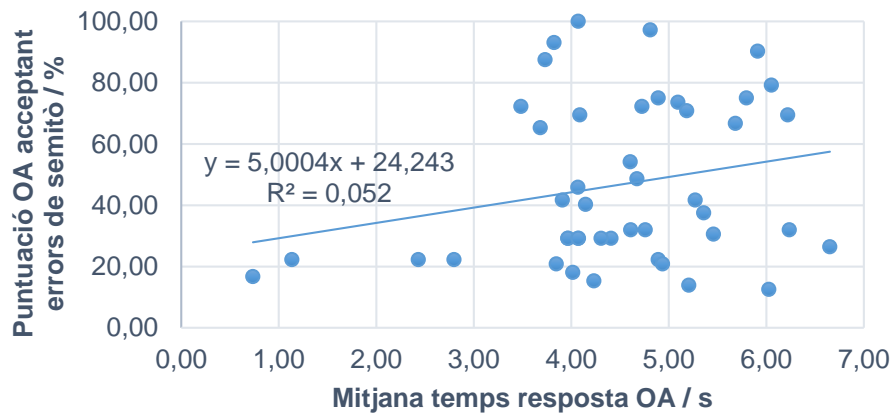


Figura 83 Diagrama de dispersió de la mitjana de temps de resposta en la prova d'OA i la puntuació dels participants ($n = 45$) a la prova d'OA acceptant els errors de semitò.

Sorprenentment, la correlació tenint només en compte els 12 subjectes amb OA és negativa: com millor resultat a la prova d'OA, menys temps es tarda a respondre en aquesta mateixa prova. Considerant només aquests individus, $r = -0,239$ i la bondat d'ajust del model lineal ajustat a les dades (Figura 84) és $R^2 = 0,057$.

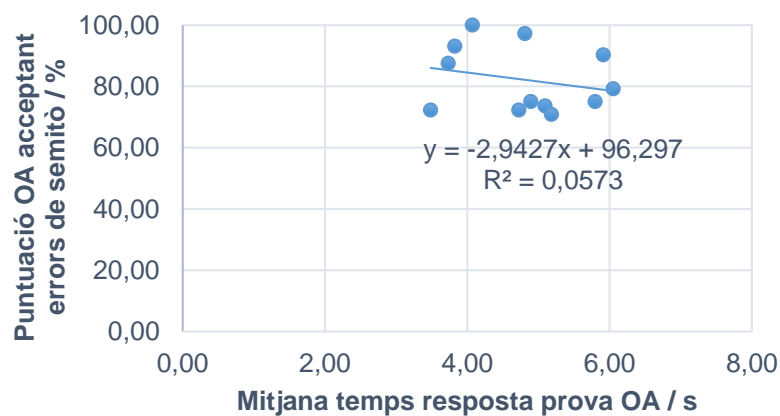


Figura 84 Diagrama de dispersió de la mitjana de temps de resposta en la prova d'OA i la puntuació dels 12 participants amb OA en la prova d'OA (acceptant errors de semitò).

Es podria donar l'explicació que – tal i com s'ha suggerit a l'anàlisi descriptiva dels resultats de la mitjana de temps de resposta de la prova d'OA – com que els participants que tenen una mitjana de temps de resposta més baixa (fins a 3 s de mitjana) no tenen OA, podria esdevenir-se que hagin respost ràpid sense parar massa atenció a la resposta escollida. D'aquesta manera, obtindrien una

mitjana de temps de resposta inferior als participants que han respost de manera acurada, invertint la correlació entre les dues variables.

En definitiva, l'OA influenciaria en la rapidesa de resposta però la correlació entre les variables és molt baixa.

Faria falta també classificar la població en dos grups (OA i OR) per determinar si les mitjanes de la velocitat de resposta són diferents i, en el cas que ho fossin, si les diferències són estadísticament significatives. Consegüentment, s'ha elaborat un diagrama de caixes (Figura 85), s'ha vist que les mitjanes són lleugerament diferents, i s'han aplicat els procediments anteriors per a comparar-les.

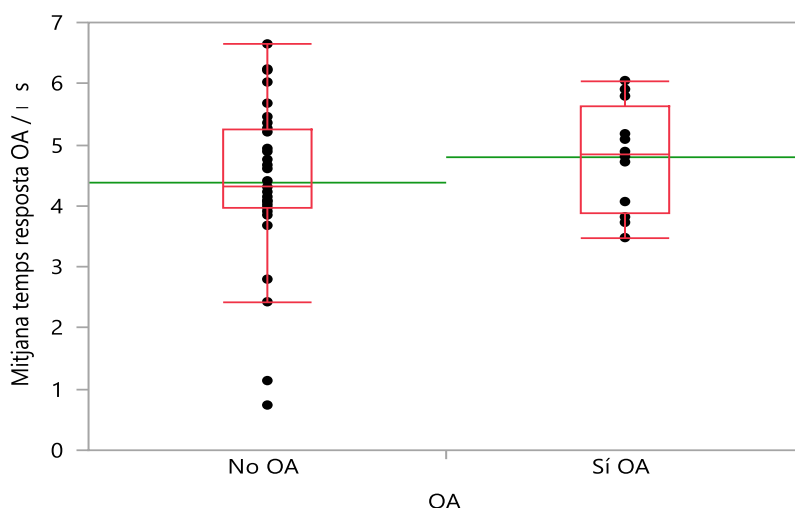


Figura 85 Diagrama de caixes dels participants sense OA i amb OA (n = 45) i la seva mitjana de temps de resposta a la prova d'OA. La línia verda indica la mitjana de cada grup, mentre que les caixes indica els percentils (0 %, 25 %, 50 %, 75 % i 100 %).

Malgrat que els valors del grup “Sí OA” segueixen una distribució normal, s'ha detectat que el grup “No OA” no la segueix. Per això, s'ha aplicat la transformació de Johnson i seguidament s'ha comprovat mitjançant la prova de Bartlett que les mostres són homoscedàstiques, que tenen la mateixa variància. Aleshores, s'ha pogut fer l'ANOVA i aquesta ha corroborat que les diferències entre mitjanes no són estadísticament significatives.

Aquests resultats es traduïrien en què la mitjana de temps de resposta en la prova d'OA no influenciaria en el fet de posseir OA o no. Atenent a la hipòtesi 4, seria plausible pensar que la velocitat de resposta no canvia entre grups, però més probable seria considerar que per la disposició de les notes en cercle cromàtic durant la prova, tots els participants han perdut cert temps buscant la

resposta adequada i per això les diferències no són significatives estadísticament parlant. A favor de la segona opció seria important considerar el fet que els individus amb OA reconeixien els tons de manera automàticament, de manera ràpida i sense esforç (Greber et al., 2018), mentre que els individus amb OR necessitarien comparar el to escoltat amb una referència prèvia i establir-hi una relació d'interval (Bischoff Renninger et al., 2003), acció que necessitaria més temps.

Quant a la qüestió del període crític (hipòtesi 5), aquesta hipòtesi estableix que una introducció a la música abans dels 9 anys, òptimament entre els 3 i 6 anys de vida, afavoreix el desenvolupament de l'OA (Miyazaki, 2004). Per tal de poder-la validar, s'ha buscat l'existència de correlació entre l'edat d'inici de la formació musical dels participants i el seu resultat a la prova d'OA acceptant errors de semitò. Comparant les dues variables, $r = -0,249$. És una correlació negativa baixa però existent, així que s'ha calculat el coeficient de determinació del model lineal ajustat (Figura 86). Com que $R^2 = 0,062$ la recta de regressió ajustada a les dades no explicaria la seva variabilitat; farien falta moltes més dades entremig per poder ajustar un model lineal més representatiu.

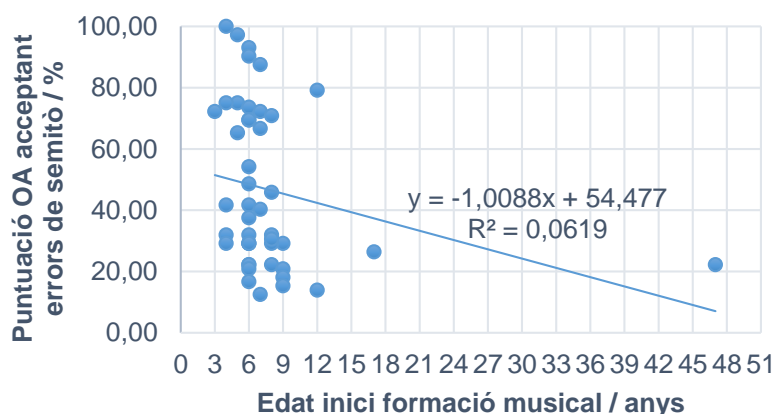


Figura 86 Diagrama de dispersió de l'edat d'inici de la formació musical dels 45 participants a la part pràctica i la seva puntuació en la prova d'OA acceptant errors de semitò.

Les anàlisis s'han repetit tenint en compte només els 12 participants amb OA. En aquest cas, $r = -0,161$, i si s'ajustés un model lineal a les dades (Figura 87), la seva bondat d'ajust és fins i tot inferior que calculant-ho amb la mostra anterior ($n = 45$).

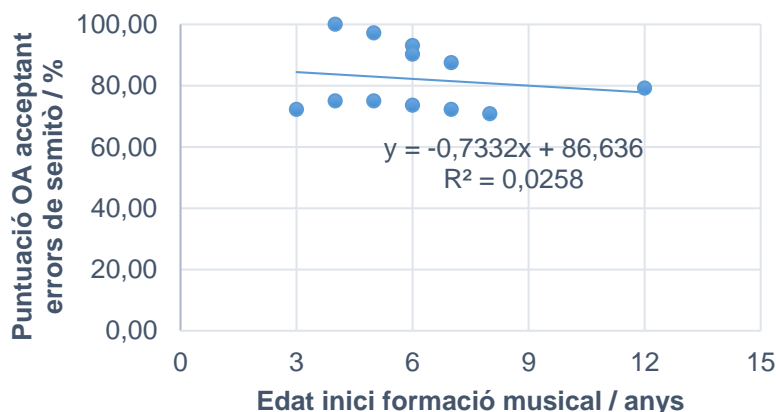


Figura 87 Diagrama de dispersió de l'edat d'inici de la formació musical dels participants amb OA ($n = 12$) i la seva puntuació a la prova d'OA acceptant errors de semitò.

Això vol dir que si bé existeix una correlació negativa entre les dues variables, el model lineal no pot predir la gran majoria dels resultats de la mostra, per la qual cosa faltarien més variables per predir les dades de forma fiable. Referint-nos altre cop a la hipòtesi 5, si bé l'edat d'inici de la formació musical pot influir en el desenvolupament de l'OA (és a dir, com més gran es comença a estudiar música, la probabilitat de desenvolupar OA és més baixa o menys grau d'OA es té), no és suficient per explicar aquest fenomen.

Podria ésser possible que la genètica jugués un paper important en el desenvolupament de l'OA, per la qual cosa s'ha observat si el factor de tenir familiars amb OA afavoreix al propi desenvolupament d'aquesta habilitat. Això s'ha comprovat mitjançant un diagrama de caixes (Figura 88), observant les diferències entre les mitjanes i calculant si les diferències en qüestió són estadísticament significatives o no.

Els valors dels dos primers grups ("No" i "No ho sé") segueixen una distribució normal, i el tercer grup només té un valor. Les mitjanes en els tres casos, seguint la prova de Bartlett, són homoscedàstiques. Així doncs, es calcula l'ANOVA i dona resultats negatius en totes les comparacions, per la qual cosa no hi ha diferències estadísticament significatives entre les mitjanes dels grups.

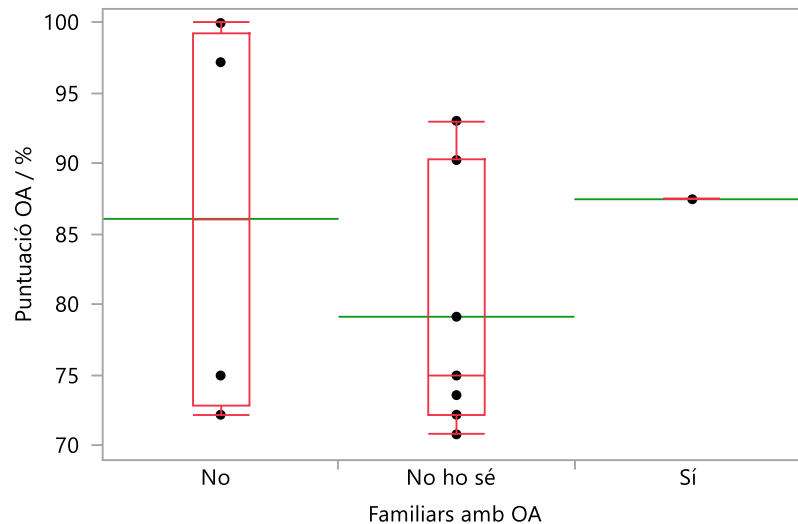


Figura 88 Diagrama de caixes de tenir parentiu amb algun familiar amb OA i la puntuació de la prova d'OA acceptant errors de semitò dels participants amb OA ($n = 12$). La línia verda indica la mitjana de cada grup, mentre que les caixes indiquen els percentils (0 %, 25 %, 50 %, 75 % i 100 %).

Resumidament, les anàlisis assenyalarien que tenir familiars amb OA no influenciaria en el fet de tenir-ne un mateix. Val a dir, però, que la mostra és molt petita: només un participant amb OA sap que té familiars amb aquesta habilitat, de manera que els resultats no serien concloents. Seria molt fàcil que amb una mostra més gran els resultats fossin diferents.

Unes altres variables que s'han comparat són l'edat i els errors en la prova d'OA (hipòtesi 6). Considerant que qualsevol resposta que no sigui estrictament la nota presentada, inclosos els errors de semitò, és un error, s'ha calculat el coeficient de correlació de Pearson amb tota la mostra ($n = 45$). El coeficient indica una correlació positiva baixa ($r = 0,302$), tot i que existent. Per això s'ha ajustat un model lineal (Figura 89) i s'ha calculat el coeficient de determinació. Tanmateix, aquest darrer informa que el model lineal ajustat només explicaria un 9% de la relació entre les variables, és a dir, que la recta de regressió quasi no s'ajusta als valors de la mostra.

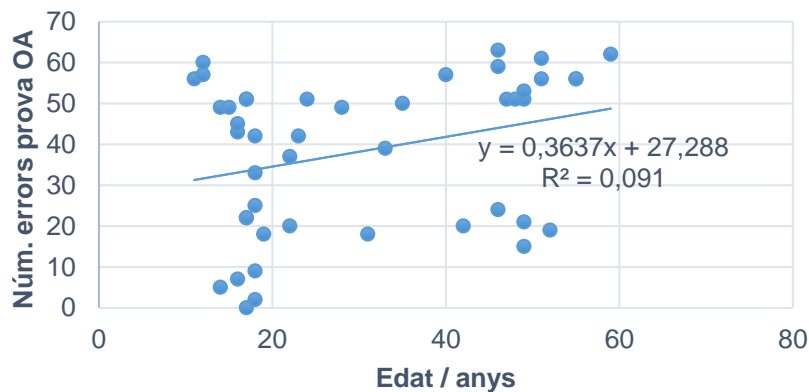


Figura 89 Diagrama de dispersió de l'edat dels participants ($n = 45$) i els seus errors en la prova d'OA, sense acceptar errors de semitò.

Vist que hi ha estudis que demostren que l'edat pot interferir en la percepció dels tons (Baharloo et al., 1998), s'ha cregut convenient analitzar si els coeficients de correlació i de determinació són diferents quan es consideren només els 12 individus amb OA. En aquest cas, $r = 0,679$, fet que indica una correlació positiva força alta entre l'edat dels individus amb OA i els seus errors en la prova d'OA. La mesura de bondat d'ajust del model lineal creat (Figura 90) és $R^2 = 0,461$ i, per tant, el model explicaria quasi la meitat de la variabilitat de la mostra. Sembla ser, doncs, que l'edat sí que influenciaria en certa manera en l'exactitud de resposta de la prova d'OA.

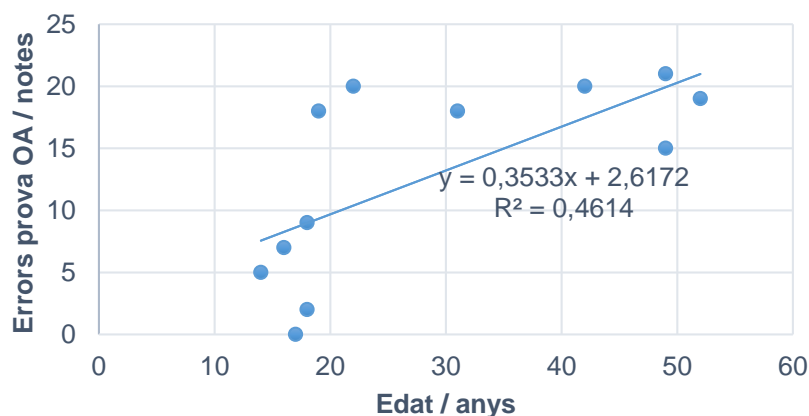


Figura 90 Diagrama de dispersió de l'edat dels participants amb OA ($n = 12$) i els seus errors en la prova d'OA, sense acceptar errors de semitò.

Amb tot, s'hauria de veure si aquest canvi en la percepció dels tons a mesura que l'edat és major ve donat per errors tècnics de la prova (dobles clics, respostes en blanc sense voler-ho, etc.) o bé si realment hi ha una desviació

quasi de semitò a partir dels 40-50 anys d'edat (Baharloo et al., 1998). Conseqüentment, s'ha calculat la diferència de puntuació entre la prova d'OA acceptant els errors de semitò i la prova d'OA sense acceptar cap tipus d'error. Així, la diferència de puntuació indicaria el percentatge que varia al tenir en compte o no els errors de semitò.

A partir d'aquesta diferència, s'ha buscat l'existència d'una correlació entre l'edat dels participants ($n = 45$) i la diferència de puntuació entre ambdues proves. El coeficient de correlació de Pearson indica una correlació quasi inexistente ($r = 0,017$), i la bondat d'ajust del seu model lineal seria encara més minsa ($R^2 = 0,0003$). Probablement la correlació no es vegi reflectida amb tota la mostra perquè els subjectes amb OR ja no errarien amb un marge de semitò sinó més ampli, que ja entraria dins els errors que no són de semitò. Per aquest fet, s'ha calculat el coeficient de correlació de Pearson amb els participants amb OA ($n = 12$). Considerant només aquests darrers, $r = 0,542$, així que s'ha ajustat un model lineal (Figura 91) que té un coeficient de determinació $R^2 = 0,293$. Per tant, relacionant-ho amb la hipòtesi 6 semblaria ser que l'edat sí que afecta al resultat a la prova d'OA tot i que no seria l'única explicació d'aquest fenomen. Podria donar-se el cas que amb una mostra més gran d'individus amb OA i amb l'edat més repartida, el model lineal ajustat expliqués un percentatge més alt de la variabilitat.

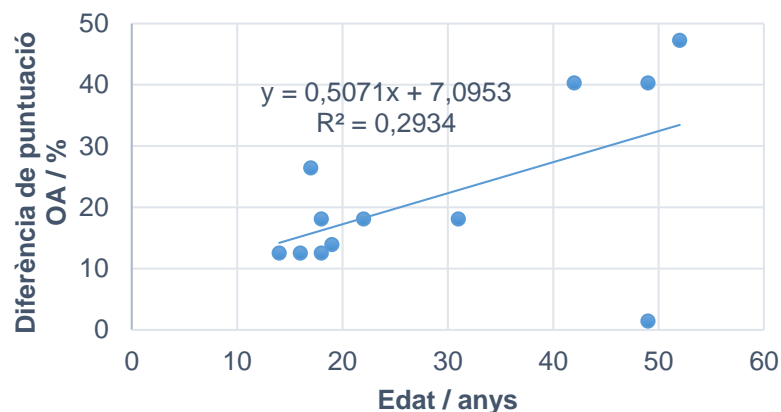


Figura 91 Diagrama de dispersió de l'edat dels 12 participants amb OA i la seva diferència de puntuació (entre la puntuació acceptant els errors de semitò i la puntuació sense acceptar errors) en la prova d'OA.

6.3.1 Model estadístic per a estimar la puntuació d'oida absoluta

Fins ara totes les comparacions que s'han realitzat han estat de variables dos a dos. En moltes d'aquestes s'hi ha ajustat un model lineal, del qual s'ha calculat el coeficient de determinació. Ha donat el cas, però, que quasi tots els coeficients de determinació dels models lineals ajustats a les diferents variables analitzades són molt baixos, un indicatiu que segurament faltarien més variables al model per explicar un percentatge més alt de la variabilitat de la mostra. Això és justament el que s'ha provat en aquest apartat. Amb totes les variables recollides a l'enquesta feta als participants ($n = 45$), s'ha calculat un model lineal que permeti predir la puntuació d'OA (acceptant errors de semitò). L'equació del model resultat és la següent (Equació 1):

$$P_{OA} = 38,3399 + S \times \begin{bmatrix} f \rightarrow 5,7968 \\ m \rightarrow -5,7968 \\ a \rightarrow . \end{bmatrix} + 0,1344 \times E + PLL \times \begin{bmatrix} cast \rightarrow 5,7968 \\ cat \rightarrow -5,7968 \\ cat, cast \rightarrow . \\ eslov \rightarrow 5,7968 \\ roman \rightarrow 5,7968 \\ a \rightarrow . \end{bmatrix} + 0,4900 \times EIFM +$$

$$+ DA \times \begin{bmatrix} amateur \rightarrow -6,2014 \\ e. escola música \rightarrow -17,7371 \\ e. estudis superiors \rightarrow 4,6347 \\ e. grau professional \rightarrow 7,3234 \\ professional \rightarrow 11,9804 \\ a \rightarrow . \end{bmatrix} + PercOA \times \begin{bmatrix} no \rightarrow -21,4832 \\ no ho sé \rightarrow 2,3047 \\ sí \rightarrow 19,1785 \end{bmatrix} + FamOA \times \begin{bmatrix} no \rightarrow 5,5720 \\ no ho sé \rightarrow -2,3936 \\ sí \rightarrow -3,1784 \end{bmatrix}$$

Equació 1 Equació del model lineal ajustat a les dades. El sumatori de totes les variables estima la puntuació d'OA (P_{OA}). Abreviacions: sexe (S), femení (f), masculí (m), altres (a), edat actual (E), primera llengua (PLL), castellà (cast), català (cat), eslovac (eslov), romanès (roman), edat d'inici de la formació musical (EIFM), dedicació actual a la música (DA), percepció d'OA (PercOA), familiars amb OA (FamOA).

Abans de prosseguir, però, s'ha comprovat si aquest model és estadísticament significatiu. S'ha aplicat una ANOVA i s'ha vist que sí que ho és. Amb tot, no totes les variables tenen el mateix pes. De fet, només hi ha una variable que té molt pes i és la percepció de l'OA d'un mateix, doncs els participants que afirmen tenir OA realment tenen una puntuació més alta que els que diuen no tenir-ne (Taula 2). Les altres variables tenen poc pes però si es treuen, el model lineal va perdent capacitat d'explicar els resultats

Variable	PValor
Percepció OA	0.00017
Dedicació actual	0.07228
Sexe	0.08620
Llengua materna	0.21052
Inici formació musical	0.40392
Familiars amb OA	0.45047
Edat / anys	0.67080

Taula 2 Taula de les variables que s'han inclòs en el model lineal i el seu pes. La Percepció d'OA és la variable amb més pes.

Així doncs, la gràfica del model lineal (Figura 92) compara la puntuació d'OA estimada per l'equació (abscisses) i la puntuació d'OA que ha obtingut cada participant realment (ordenades). Aquest model explica el 72 % de la variabilitat de la mostra, una bondat d'ajust molt alta, tot i que l'arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà (en anglès, *root mean square error*, RMSE) dona 16,968. És a dir, existeix un marge d'error força gran però alhora el coeficient de determinació del model és molt alt.

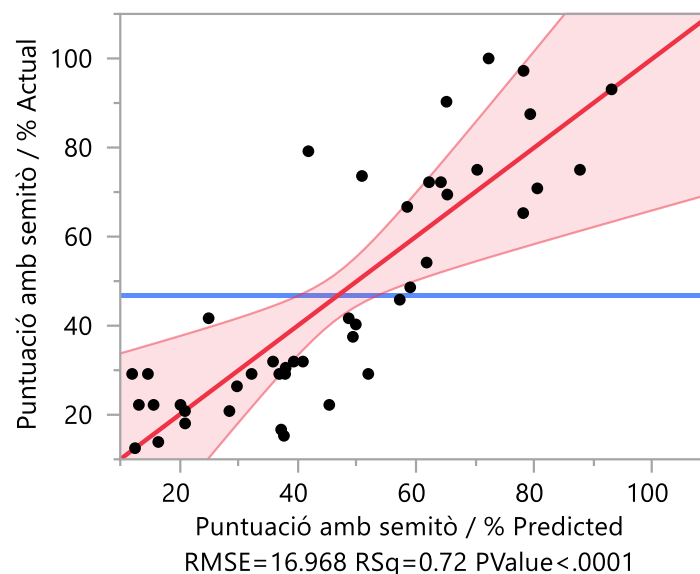


Figura 92 Diagrama de dispersió de la puntuació d'OA acceptant errors de semitò estimada amb l'equació i la puntuació d'OA acceptant errors de semitò real de cada participant (n = 45). La recta vermella és la bisectriu. La zona vermella és la zona de confiança del model lineal ajustat.

De totes maneres, cal considerar que en aquesta part pràctica, la mostra analitzada (n = 45) no és suficientment àmplia com per generalitzar aquest model a tota la població. Segurament certes variables, com ara la primera llengua o bé

el sexe, tenen més o menys pes segons el resultat dels participants d'aquest estudi en concret. Alhora, però, és interessant veure com el grau d'OA no depèn només d'un factor, d'una variable, sinó de la interrelació de moltes i encara queda un 28 % per explicar. Amb tota probabilitat, si es coneguessin altres variables, aquest model s'ajustaria molt més a la mostra enquestada. Per il·lustrar, s'hauria de ser coneixedor de la genètica de cada individu, del tipus de formació musical rebuda i sistema de llenguatge, l'instrument tocat, el grau de cansament o fatiga en el moment de realitzar la prova, l'última classe o assaig al qual es va assistir, etc., per a poder arribar a obtenir un model molt més exacte. Si la mostra fos més àmplia, es podria arribar a plantejar l'obtenció d'una equació aplicable a gran part de la població.

7 CONCLUSIONS

Els objectius d'aquest Treball de Recerca eren endinsar-se en el món de l'oïda absoluta i el seu processament al cervell. Es podria dir que el marc teòric d'aquest treball ja aconsegueix el segon i tercer punt dels objectius, que eren investigar sobre les bases biològiques de l'OA i elaborar un recull bibliogràfic de l'OA i la neurologia. Pel que fa al primer punt, qui signa aquest treball coneix a grans trets el processament dels sons al cervell en els individus amb OA, si bé encara desconeix, amb exactitud, el que passa al cervell, car aquest assumpte és un tema de recerca relativament recent, amb poques certeses avui en dia.

La part experimental compleix amb les expectatives dels objectius i ha pogut validar les següents hipòtesis:

- L'OA és igual de prevalent tant en el gènere masculí com en el femení;
- L'OA no és una habilitat de tot o res, dicotòmica. Hi ha diferents graus d'exactitud dins dels individus amb OA així com dins dels individus sense OA;
- Tenir OA fa augmentar la velocitat de resposta en les proves d'OA;
- El període crític influeix en el desenvolupament de l'OA;
- L'edat del subjecte afecta negativament a l'exactitud en la percepció dels tons.

La hipòtesi de l'automatisme de L'OA no s'ha pogut validar, segurament per les limitacions que comporta el format de les proves i el nombre reduït de participants.

Ara bé, en les anàlisis realitzades per poder validar les hipòtesis, sovint les correlacions o coeficients de determinació eren baixos, faltaven variables, o bé mostra, per obtenir valors més alts. Com s'ha anat veient al llarg de les comparacions, és difícil treure conclusions significatives amb una mostra reduïda. Val a dir, també, que el nombre d'individus amb OA en la part experimental d'aquest treball és molt baix i aquesta limitació és difícil de solucionar, car ja de per sí la prevalença de l'OA entre la població és minsa, inclús entre persones amb formació musical.

Tanmateix, com demostra el model estadístic per a estimar la puntuació d'OA, no és una variable sinó moltes en el seu conjunt les que conformen l'OA. Per tant, ens trobem davant d'una habilitat molt complexa, amb molts factors a tenir en compte, tant ambientals com genètics. Les bases biològiques de l'OA encara són un misteri a resoldre.

Finalment, cal destacar que aquest tema és poc recurrent i hi ha poques investigacions al respecte. Sorprenentment, hi ha bastants estudis que mencionen l'OA i la controvèrsia entre ser un caràcter innat o adquirit, l'OA i les llengües tonals, l'OA i el període crític... però pel que fa a l'OA i el cervell, les publicacions són molt recents. A més a més, molts dels pocs articles existents sobre aquest àmbit es contradiuen, segurament perquè difereixen en mètodes i paradigmes utilitzats, així com en les tècniques d'anàlisi de dades, i en el nombre i característiques dels subjectes analitzats. Aquest darrer aspecte pot ser decisiu a l'hora d'obtenir resultats vàlids, ja que si la mostra és reduïda el poder estadístic dels resultats és baix i sovint pot comportar "falses conclusions".

Per concloure, qui signa aquest treball reitera la complexitat del món del cervell i l'oïda absoluta, un àmbit una mica menys desconegut per ella i poc clar fins i tot pels especialistes en la matèria. Un món que ens fa veure que la música i la ciència no estan tan allunyades i que encara queda molt camí per recórrer.

8 BIBLIOGRAFIA

- Amunts, K. (2012). *Auditory System*. The Human Nervous System (Third Edition). <https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/brodmann-area-41>
- Baharloo, S., Johnston, P. A., Service, S. K., Gitschier, J., & Freimer, N. B. (1998). Absolute pitch: An approach for identification of genetic and nongenetic components. *American Journal of Human Genetics*, 62(2), 224–231. <https://doi.org/10.1086/301704>
- Bernard J. Baars, N. M. G. (2010). *Hearing and speech*. Cognition, Brain, and Consciousness (Second Edition). <https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/brodmann-area-41>
- Bischoff Renninger, L., Granot, R. I., & Donchin, E. (2003). Absolute Pitch and the P300 Component of the Event-Related Potential: An Exploration of Variables That May Account for Individual Differences. *Music Perception*, 20(4), 357–382. <https://doi.org/10.1525/mp.2003.20.4.357>
- Brauchli, C. (2019). *Functional networks in absolute pitch and auditory-visual synesthesia*. <https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/170788/1/170788.pdf>
- Brauchli, C., Leipold, S., & Jäncke, L. (2019a). Diminished large-scale functional brain networks in absolute pitch during the perception of naturalistic music and audiobooks. *NeuroImage*. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116513>
- Brauchli, C., Leipold, S., & Jäncke, L. (2019b). Univariate and multivariate analyses of functional networks in absolute pitch. *NeuroImage*, 189(January), 241–247. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.01.021>
- Burkhard, A., Elmer, S., & Jäncke, L. (2019). Early tone categorization in absolute pitch musicians is subserved by the right-sided perisylvian brain. *Scientific Reports*, 9(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38273-0>
- Burkhard, A., Hänggi, J., Elmer, S., & Jäncke, L. (2020). The importance of the fibre tracts connecting the planum temporale in absolute pitch possessors. *NeuroImage*, 211. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116590>
- Chai, W. J., Abd Hamid, A. I., & Abdullah, J. M. (2018). Working memory from the psychological and neurosciences perspectives: A review. *Frontiers in Psychology*, 9(MAR), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00401>
- Chen, J., & Yuan, J. (2016). The neural causes of congenital amusia. In *Journal of Neuroscience* (Vol. 36, Issue 30, pp. 7803–7804). Society for Neuroscience. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1500-16.2016>
- Collado, S. M. (2013). *Corteza cerebral*. <https://www.psicoactiva.com/blog/la-corteza-cerebral-morfologia-histologia-localizacion-funcional/>
- Collado, S. M. (2016). *Substància blanca i substància grisa*. <https://www.psicoactiva.com/blog/la-sustancia-blanca-la-sustancia-gris-del-cerebro-funcion-comparativa/>

- Deutsch, D. (2014). *5 Absolute Pitch* (Issue August).
<https://doi.org/10.13140/2.1.4752.7048>
- DEUTSCH, D., HENTHORN, T., & DOLSON, M. (2004). Absolute Pitch, Speech, and Tone Language: Some Experiments and a Proposed Framework. *Music Perception*, 21(3), 339–356.
<https://doi.org/10.1525/mp.2004.21.3.339>
- Deutsch, D., Henthorn, T., Marvin, E., & Xu, H. (2006). Absolute pitch among American and Chinese conservatory students: Prevalence differences, and evidence for a speech-related critical period. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 119(2), 719. <https://doi.org/10.1121/1.2151799>
- Dohn, A., Garza-Villarreal, E. A., Heaton, P., & Vuust, P. (2012). Do musicians with perfect pitch have more autism traits than musicians without perfect pitch? an empirical study. *PLoS ONE*, 7(5).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037961>
- Fernández, M. À. G., Domènech, C. Z., Pareja, M. S., Vilà, A. G., Martos, I. G., Castelló, R. G., Alcolea, M. R., & Nus, P. (2010). *Cognició. IOC*.
https://ioc.xtec.cat/materials/FP/Materials/1752_EDI/EDI_1752_M06/web/html/WebContent/u3/a2/continguts.html
- García-Casares, N., Berthier Torres, M. L., Froudish Walsh, S., & González-Santos, P. (2013). Modelo de cognición musical y amusia. In *Neurología* (Vol. 28, Issue 3, pp. 179–186). <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2011.04.010>
- Grabulosa, J. M. S., Benito, R. P., Castells, D. S. M. P. P., & Mimó, M. C. (2016). *VAR IACIONES EN L'EEG*.
<http://www.ub.edu/psicobiologia/Pmemlleng/eeg.htm>
- Gran Enciclopèdia Catalana. (2018a). *Cissures cerebrals*.
<https://www.enciclopedia.cat/ec-gec-0090772.xml>
- Gran Enciclopèdia Catalana. (2018b). *So*. <https://www.enciclopedia.cat/ec-gec-0143073.xml>
- Greber, M., Rogenmoser, L., Elmer, S., & Jäncke, L. (2018). Electrophysiological correlates of absolute pitch in a passive auditory oddball paradigm: A direct replication attempt. *ENeuro*, 5(6), 1–13.
<https://doi.org/10.1523/ENEURO.0333-18.2018>
- Gregersen, P. K., Kowalsky, E., Kohn, N., & Marvin, E. W. (2001). Early childhood music education and predisposition to absolute pitch: Teasing apart genes and environment [2]. *American Journal of Medical Genetics*, 98(3), 280–282. [https://doi.org/10.1002/1096-8628\(20010122\)98:3<280::AID-AJMG1083>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/1096-8628(20010122)98:3<280::AID-AJMG1083>3.0.CO;2-6)
- Hamilton, R. H., Pascual-Leone, A., & Schlaug, G. (2004). Absolute pitch in blind musicians. *NeuroReport*, 15(5), 803–806.
<https://doi.org/10.1097/00001756-200404090-00012>
- Jäncke, L., Langer, N., & Hänggi, J. (2012). Diminished whole-brain but enhanced peri-sylvian connectivity in absolute pitch musicians. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(6), 1447–1461.

https://doi.org/10.1162/jocn_a_00227

- Jara, N., & Délano R, P. H. (2014). Avances en corteza auditiva Advances in auditory cortex. *Otorrinolaringol. Cir. Cabeza Cuello*, 74, 249–258.
- Jiumedo, A., Saumell, I., & Ugedo, L. (2016). *Biología i Geología 3r ESO* (Casals (ed.)).
- Keenan, J. P., Thangaraj, V., Halpern, A. R., & Schlaug, G. (2001). Absolute pitch and planum temporale. *NeuroImage*, 14(6), 1402–1408. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0925>
- Kim, S. G., & Knösche, T. R. (2017). Resting state functional connectivity of the ventral auditory pathway in musicians with absolute pitch. *Human Brain Mapping*, 38(8), 3899–3916. <https://doi.org/10.1002/hbm.23637>
- Leipold, S., Brauchli, C., Greber, M., & Jäncke, L. (2019). Absolute and relative pitch processing in the human brain : Neural and behavioral evidence. *Brain Structure and Function*, 224(1723–1738), 1–31.
- Leipold, S., Greber, M., & Elmer, S. (2019). Perception and cognition in absolute pitch: Distinct yet inseparable. *Journal of Neuroscience*, 39(30), 5839–5841. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0653-19.2019>
- Leipold, S., Greber, M., Sele, S., & Jäncke, L. (2019). Neural patterns reveal single-trial information on absolute pitch and relative pitch perception. *NeuroImage*, 200, 132–141. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.06.030>
- Lenhoff, H. M., Perales, O., & Hickok, G. (2001). Absolute pitch in williams syndrome. *Music Perception*, 18(4), 491–503. <https://doi.org/10.1525/mp.2001.18.4.491>
- Levitin, D. J. (1994). Absolute memory for musical pitch: Evidence from the production of learned melodies. *Perception & Psychophysics*, 56(4), 414–423. <https://doi.org/10.3758/BF03206733>
- Levitin, D. J., Cole, K., Chiles, M., Lai, Z., Lincoln, A., & Bellugi, U. (2004). Characterizing the musical phenotype in individuals with Williams Syndrome. *Child Neuropsychology*, 10(4), 223–247. <https://doi.org/10.1080/09297040490909288>
- Loui, P. (2014). *The Oxford Handbook of Music Psychology* (S. Hallam & I. Cross (eds.); 2nd ed., Issue October, pp. 1–11). <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780198722946.013.10>
- Maggioni, L. (2017). *La conectividad funcional dinámica del cerebro y la fMRI: una reseña de las estrategias analíticas*. <http://www.connectingthegrowingbrain.com/es/dynamic-functional-connectivity-brain-fmri-overview-analytical-strategies/>
- McKetton, L., DeSimone, K., & Schneider, K. A. (2019). Larger auditory cortical area and broader frequency tuning underlie absolute pitch. *Journal of Neuroscience*, 39(15), 2930–2937. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1532-18.2019>

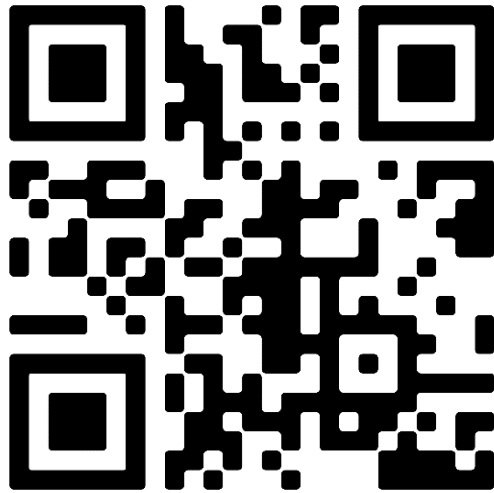
- Miyazaki, K. (2004). How well do we understand absolute pitch? *Acoustical Science and Technology*, 25(6), 426–432.
<https://doi.org/10.1250/ast.25.426>
- Moerel, M., De Martino, F., & Formisano, E. (2014). An anatomical and functional topography of human auditory cortical areas. *Frontiers in Neuroscience*, 8(8 JUL), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fnins.2014.00225>
- Noguerol, T. M., Alcalá, A. L., Mata, L. A., & Broncano, J. (2017). *RM-Difusión y DTI en la valoración de la patología renal . ¿ Qué puede aportar ?*
- Oechslin, M. S., Meyer, M., & Jäncke, L. (2010). Absolute pitch-functional evidence of speech-relevant auditory acuity. *Cerebral Cortex*, 20(2), 447–455. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp113>
- Pujol, R. (2020). *Cerebro auditivo*. Association NeurOreille.
<http://www.cochlea.eu/es/cerebro-auditivo>
- Romero, J. P. (2019). *El procesamiento auditivo central y sus trastornos: una revisión bibliográfica*. <https://www.saera.eu/el-procesamiento-auditivo-central/>
- Salvador, I. R. (2018). *Corteza cerebral: sus capas, áreas y funciones*.
<https://psicologiamente.com/neurociencias/corteza-cerebral>
- Sur, S., & Sinha, V. K. (2009). *Event-related potential: An overview*.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3016705/>
- Theusch, E., Basu, A., & Gitschier, J. (2009). *Genome-wide Study of Families with Absolute Pitch Reveals Linkage to 8q24.21 and Locus Heterogeneity*.
https://www.researchgate.net/publication/26646520_Genome-wide_Study_of_Families_with_Absolute_Pitch_Reveals_Linkage_to_8q2421_and_Locus_Heterogeneity
- Universitat Politècnica de València. (2015). *Estructura i percepció del so*.
<http://www.disca.upv.es/adomenec/IASPA/tema1/Conceptes.html#Sonidos>
- Van Hedger, S. C., Heald, S. L. M., & Nusbaum, H. C. (2019). Absolute pitch can be learned by some adults. *PLoS ONE*, 14(9), 1–25.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223047>
- Van Hedger, S. C., Heald, S. L., & Nusbaum, H. C. (2018). Long-term pitch memory for music recordings is related to auditory working memory precision. *Quarterly Journal of Experimental Psychology (2006)*, 71(4), 879–891. <https://doi.org/10.1080/17470218.2017.1307427>
- Vilallonga, J. R., Acebes, X. N., & Valero-Cabré, A. (2012). *Diccionari en línia de neurociència*. Diccionari de Neurociència [En Línia].
<https://www.termcat.cat/es/diccionaris-en-linia/140>
- Wengenroth, M., Blatow, M., Heinecke, A., Reinhardt, J., Stippich, C., Hofmann, E., & Schneider, P. (2014). Increased volume and function of right auditory cortex as a marker for absolute pitch. *Cerebral Cortex*, 24(5), 1127–1137.
<https://doi.org/10.1093/cercor/bhs391>

- Wenhardt, T., & Altenmüller, E. (2019). A tendency towards details? Inconsistent results on auditory and visual local-to-global processing in absolute pitch musicians. *Frontiers in Psychology*, 10(JAN).
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00031>
- Wikipedia. (2020a). *Coeficient de correlació de Pearson*.
https://ca.wikipedia.org/wiki/Coeficient_de_correlació_de_Pearson
- Wikipedia. (2020b). *Coeficient de determinació*.
https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_determinación
- Zatorre, R. J. (2003). *Absolute pitch : a model for understanding the influence of genes and development on neural and cognitive function*. 6(7), 692–695.
- Zatorre, R. J., & Belin, P. (2001). Spectral and temporal processing in human auditory cortex. *Cerebral Cortex*, 12(2), 140–149.
<https://doi.org/10.1093/cercor/12.2.140>
- Zatorre, R. J., Perry, D. W., Beckett, C. A., Westbury, C. F., & Evans, A. C. (1998). Functional anatomy of musical processing in listeners with absolute pitch and relative pitch. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95(6), 3172–3177.
<https://doi.org/10.1073/pnas.95.6.3172>
- Zumalacárregui, A., & Rué, J. (2012). *Ser simple es complicado: grafos y redes complejas*. ICMAT.
<http://www.madrimasd.org/blogs/matematicas/2012/09/27/134911>

9 ANNEX I: ENREGISTRAMENT DE LES PROVES

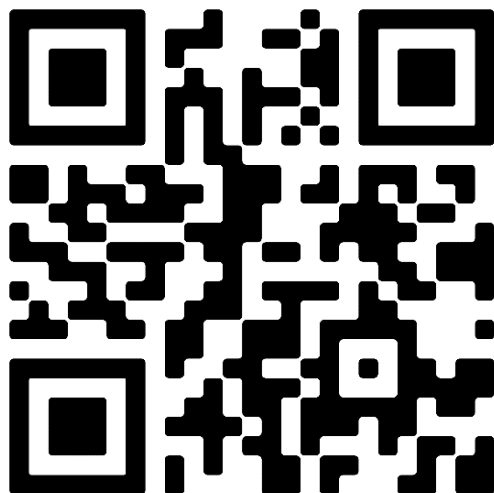
Enllaç i codi QR per a visualitzar la prova de l'oïda absoluta:

https://drive.google.com/file/d/1_Qx9HPCLc3puPbDH1ra-El0jj1oaAhyj/view?usp=sharing



Enllaç i codi QR per a visualitzar la prova de l'efecte Stroop:

<https://drive.google.com/file/d/16xbInomHVFfpGku8YClyTMv1rLmrQxr0/view>



10 ANNEX II: TERMINOLOGIA

En aquest annex es facilita la terminologia emprada al llarg d'aquest treball, així com la seva definició, per tal de poder accedir als conceptes clau del treball de manera més ràpida i alhora agilitzar-ne la seva lectura i comprensió. Els mots estan ordenats alfabèticament, i les seves definicions estan extretes de la font indicada.

al·locòrtex: part de l'escorça cerebral filogenèticament més antiga. Situat a l'hipocamp i l'àrea olfactiva, on hi ha poques capes neuronals, forma part del sistema límbic i està relacionat estretament amb les funcions de memòria, d'aprenentatge i de comportament emocional. Es subdivideix en l'arquicòrtex, el paleocòrtex i el mesocòrtex, que difereixen en el nombre de capes que els formen (Vilallonga et al., 2012).

amúsia: agnòsia auditiva en la qual es perd la capacitat de percebre, recordar o executar música, produïda per lesions en les àrees auditives secundàries de l'escorça del lòbul temporal de l'hemisferi dominant per a aquesta funció (Vilallonga et al., 2012).

anàlisi multivariada (o multi-vòxel): en estadística, qualsevol mètode analític que permeti l'estudi simultani de dues o més variables dependents. En el cas de la neuroimatgeria, les variables són vòxels o punts d'una superfície. Aquest tipus d'anàlisi de dades és més sensible a patrons que presenten els vòxels més petits, fet que no es pot detectar amb l'anàlisi univariable o l'anàlisi del model lineal general, per exemple (Leipold, Brauchli, et al., 2019).

anàlisi univariable: anàlisi estadística d'una variable. En el cas de la neuroimatgeria, les variables són vòxels o punts d'una superfície (Institut d'estudis catalans, n.d.).

anisotropia fraccionada: paràmetre del tensor de difusió que mesura la direcció de la difusió de l'aigua i està relacionada amb la integritat de la matèria blanca (la seva mielinització i densitat). Un increment en aquest paràmetre indica un increment en la velocitat de l'impuls de propagació entre diferents regions del

còrtex i una subseqüent eficiència en el processament de la informació (Burkhard et al., 2020)

àrea de Broca: àrea del llenguatge situada als dos terços posteriors de la circumvolució frontal inferior, habitualment de l'hemisferi esquerre, que té la funció de controlar l'articulació del llenguatge. Es divideix en la pars triangularis i la pars opercularis, que corresponen a les àrees 45 i 44 de Brodmann, respectivament (Vilallonga et al., 2012).

àrea de Wernicke: àrea del llenguatge situada a la part posterior del gir temporal superior que té la funció de controlar la comprensió del llenguatge. Correspon a les àrees 22, 39 i 40 de Brodmann (Vilallonga et al., 2012).

àrea motora presuplementària (pre-AMS): regió més anterior del còrtex premotor (part de l'àrea motora primària), situada al lòbul frontal, concretament al gir frontal superior (Bowden et al., n.d.).

àrees de Brodmann: una de les classificacions del còrtex cerebral més utilitzades actualment, creada per Korbinian Brodmann. És una divisió del còrtex en 52 àrees, que es basa en les diferències en anatomia, citoarquitectura (tipus de cèl·lules i densitat) i mieloarquitectura (variacions en el contingut de mielina de les cèl·lules) que mostren aquestes àrees (Vilallonga et al., 2012).

atenció: procés cognitiu que permet seleccionar la informació i processar només algunes dades de totes les estimulacions sensorials que es reben (Fernández et al., 2010).

cervell: part del sistema nerviós central que es troba dins del crani i que constitueix l'òrgan més gran relacionat amb l'activitat mental. Està format pels dos hemisferis cerebrals i el diencèfal (Vilallonga et al., 2012).

Circuit d'Activació per Defecte (CAD): xarxa neuronal formada per unes regions cerebrals interconnectades que s'activen fortament durant l'estat de repòs i tasques que no requereixen gaire atenció (com és el cas de l'escolta passiva). El CAD s'ha relacionat amb la monitorització d'estats interns i de la memòria episòdica o autobiogràfica. Les regions que el conformen són el còrtex frontal ventromedial i dorsolateral, la circumvolució del cíngol anterior, la

circumvolució del cíngol posterior, el lòbul pre-cuneïforme o la pre-circumvolució occipital interna, l'escorça parietal i l'hipocamp. En anglès, *default mode network* (DMN) (Maggioni, 2017).

circumvolució (o gir) cerebral: cadascun dels plecs que presenten curvatures en diversos sentits de la superfície cerebral limitades per depressions més o menys profundes i sinuoses anomenades cissures (Amengual Bunyola, 2011).

circumvolució del cíngol: circumvolució situada a la cara interna dels dos hemisferis cerebrals que passa per sobre del cos callós i en ressegueix el contorn (Vilallonga et al., 2012).

cissura cerebral: depressió en la superfície del còrtex cerebral que separa les circumvolucions que constitueixen un lòbul cerebral. Les cissures cerebrals principals són la cissura interhemisfèrica, en el fons de la qual hi ha el cos callós, que separa els dos hemisferis cerebrals, i les cissures de Silvi, de Rolando, occipital, callosomarginal i calcarina, que separen els lòbuls cerebrals (Gran Enciclopèdia Catalana, 2018)

cognició: conjunt de processos intel·lectuals pels quals un individu adquireix informació sobre l'entorn i l'elabora per mitjà de la percepció, el record, la imaginació, la comprensió, el judici o el raonament (Vilallonga et al., 2012).

connectivitat cerebral: interacció entre les diferents àrees del cervell, tant en estructura (connexions entre la matèria blanca i la matèria grisa) com en funcionalitat (correlacions entre les àrees d'activació) (Loui, 2014).

correlació neuronal: cadascuna de les combinacions d'impulsos aferents en els centres sensorials, que proporcionen la integració dels impulsos en respostes específiques (Institut d'estudis catalans, n.d.).

correlació: relació lineal entre variables quantitatives (DIEC, n.d.).

còrtex (o escorça) cerebral: capa exterior del cervell, de 20 a 23 mm de gruix, formada per neurones (substància grisa), on s'integren les funcions sensibles, motores i de consciència. Recobreix cadascun dels dos hemisferis cerebrals i està plegat en circumvolucions separades per solcs (Amengual Bunyola, 2011).

còrtex auditiu: porció del còrtex cerebral destinada a l'audició. Està situat a l'escorça superior del lòbul temporal, que comprèn els dos terços superiors del gir temporal superior (GTS). A escala macroscòpica es divideix en el planum polare (PP), el gir de Heschl (GH) o circumvolució temporal transversa, i el planum temporale (PT) (Moerel et al., 2014).

còrtex prefrontal: àrea d'associació multimodal del còrtex cerebral situada, en la porció més pròxima al rostre, per davant de l'àrea premotora i de les àrees dels moviments oculars. Correspon a les àrees 9, 10, 11 i 12 de Brodmann. En el còrtex prefrontal hi tenen lloc els processos d'intencionalitat, judici, previsió, planificació, control executiu del comportament i adaptació social. Alhora, es pot dividir en l'àrea dorsolateral, l'àrea orbitofrontal i l'àrea ventromedial (Vilallonga et al., 2012).

digit span test: test de memòria a curt termini on es demana al subjecte de repetir una seqüència de nombres, que va essent progressivament més llarga. Normalment, s'utilitzen sis o set nombres (Loui, 2014).

electroencefalograma: enregistrament de l'activitat elèctrica cerebral, constituïda per oscil·lacions complexes i irregulars que són el resultat de la suma integrada de les variacions elèctriques de les neurones i, especialment, de les oscil·lacions del potencial de repòs de la seva membrana i dels potencials d'acció. En l'electroencefalograma de persones sanes es presenten activitats rítmiques a diferents freqüències: ritmes β , α , θ i δ (Institut d'estudis catalans, n.d.).

espectre sonor: distribució de les freqüències d'un senyal sonor (Fabra, n.d.).

fascicle arquejat: Fascicle que connecta el lòbul frontal amb el lòbul temporal, especialment l'àrea de Broca amb l'àrea de Wernicke (Vilallonga et al., 2012).

fascicle longitudinal superior: conjunt de fibres nervioses que connecta les regions temporals amb les regions frontals del cervell (Burkhard et al., 2020).

fascicle: feix d'axons disposats en sentit longitudinal i habitualment amb la mateixa funcionalitat que connecta diferents centres o estructures del sistema nerviós central, o el sistema nerviós central amb els òrgans perifèrics com la pell,

els músculs o les estructures del sistema nerviós autònom. És intercanviable amb el mot feix i amb una de les accepcions de la paraula tracte; també es pot anomenar via neuronal o via de conducció nerviosa (Vilallonga et al., 2012).

gen dominant autosòmic: gen que pertany a algun cromosoma que no és cromosoma sexual (autosoma) i que, per a un individu heterozigot, l'al·lel (dominant) predomina per sobre de l'altre (recessiu) (Institut d'estudis catalans, n.d.).

gir (o circumvolució) frontal inferior (GFI): circumvolució situada a la part inferior i externa del lòbul frontal i que limita superiorment amb el solc frontal inferior. Es divideix en tres parts: l'orbicular, la triangular i l'opercular. L'àrea de Broca correspon a les parts triangular i opercular (Vilallonga et al., 2012).

gir (o circumvolució) temporal superior (GTS): circumvolució del lòbul temporal que se situa sobre el solc temporal superior i segueix el solc lateral o cissura de Silvi per sota. Conté l'àrea de Wernicke i part de les àrees auditives primària i secundària (Vilallonga et al., 2012).

gir de Heschl (GH) (o circumvolució temporal transversa): part principal del còrtex auditiu, que correspon a l'àrea 41 de la topografia de Brodmann. Està gairebé ocult dins la cissura de Silvi. El GH es pot dividir en: el còrtex auditiu primari (CAP o A1), que ocupa la meitat del GH; la part rostral (R, més pròxima al rostre) i la part rostral-temporal (RT) (Moerel et al., 2014).

instrument transpositor: instrument que transporta el to automàticament; la nota que es toca no correspon a la nota real (Fabra, n.d.).

interval: en música, distància que separa dos sons en l'escala musical (Fabra, n.d.).

llengua d'accent tonal: llengua on el significat d'algunes paraules difereix depenent del to de les síl·labes en les quals estan compreses. Ho són el japonès i alguns dialectes del coreà, entre altres. En aquestes llengües el to també juga un paper important en l'atribució de significat lèxic però el seu rol no és tan crític com en les llengües tonals (Deutsch, 2014).

llengua no tonal: llengua on el to pot transmetre informació de l'estat emocional del parlant però no canvia el significat de la paraula pronunciada. Ho són el català i l'anglès, per exemple (Deutsch, 2014).

llengua tonal: llengua on les paraules prenen significats lèxics diferents segons el to en el qual són enunciadades. Els tons lèxics venen definits tant per la seva alçada (registre) com per la seva corba de nivell tonal. Ho són, per exemple, el mandarí, el cantonès, el Thai i el vietnamita (Deutsch et al., 2004).

lòbul cuneïforme: àrea cortical de forma triangular situada en la cara interna del lòbul occipital de cada hemisferi cerebral, delimitada per la cissura calcarina i la cissura parietooccipital. També s'anomena circumvolució occipital interna, cúneus o cuny (Vilallonga et al., 2012).

lòbuls cerebrals: cadascuna de les cinc divisions primàries de l'escorça cerebral (lòbul frontal, el lòbul parietal, el lòbul temporal, el lòbul occipital i el lòbul de l'ínsula), amb una relativa especialització funcional. Estan constituïts per girs o circumvolucions, i separades entre si per solcs o cissures (Vilallonga et al., 2012).

locus: posició d'un gen en un cromosoma (Institut d'estudis catalans, n.d.).

mapa tonotòpic: mapa sensorial que representa les projeccions aferents de la via auditiva que van des de l'òrgan espiral (la còclea) fins al nucli geniculat medial del tàlem i l'àrea auditiva primària (Vilallonga et al., 2012). *Tonotòpic* prové de *tono-* (freqüència del to) i *-tòpic* (localització); les diferents freqüències exciten regions del cervell lleugerament diferents (Hartmann, 2013).

memòria a curt termini: sistema intermedi de memòria en el qual la informació es reté durant aproximadament 20 segons. La informació es codifica ràpidament en les àrees sensorials primàries; s'analitza, s'interpreta i s'organitza per un emmagatzematge posterior o bé es descarta (Fernández et al., 2010).

memòria a llarg termini: memòria caracteritzada per un emmagatzematge d'informació il·limitat i una capacitat d'evocació permanent o durant un període de temps llarg. Es pot dividir en memòria declarativa i memòria procedimental segons la seva adquisició (Vilallonga et al., 2012).

memòria de treball: model de memòria a curt termini que proposa la manipulació activa de la informació mitjançant l'emmagatzematge d'informació procedent de diverses fonts sensorials durant un període de temps curt, mentre s'elabora una estratègia de resposta. La xarxa neuronal implicada es troba distribuïda entre l'escorça prefrontal, l'escorça parietal i la part anterior de la circumvolució del cíngol (Vilallonga et al., 2012).

memòria declarativa: tipus de memòria a llarg termini que s'evoca de manera voluntària i conscient. Les estructures cerebrals implicades més directament són l'hipocamp i el neocòrtex cerebral. S'anomena també memòria explícita (la sinonímia no està actualment acceptada per alguns autors). Alhora, es pot dividir en memòria episòdica i memòria semàntica (Vilallonga et al., 2012).

memòria episòdica: tipus de memòria declarativa que emmagatzema les experiències personals passades associades amb un context temporal, geogràfic o circumstancial particular. Depèn de l'hipocamp i del neocòrtex (Vilallonga et al., 2012).

memòria procedimental: tipus memòria a llarg termini que s'emmagatzema de manera inconscient i s'evoca automàticament. Sovint s'anomena memòria implícita (la sinonímia no està actualment acceptada per alguns autors), i inclou les habilitats motores i el condicionament, tasques com conduir un cotxe o anar amb bicicleta. Les regions implicades en aquest tipus de memòria són els nuclis basals, el cerebel i el neocòrtex (Vilallonga et al., 2012).

memòria semàntica: tipus de memòria declarativa que emmagatzema els coneixements dels objectes i fets que conformen el món, i el significat de les paraules (Vilallonga et al., 2012).

memòria sensorial: memòria caracteritzada per un emmagatzematge d'informació sensorial durant un temps molt breu, necessari perquè el sistema perceptiu pugui processar l'estímul d'entrada. Té lloc a les àrees sensorials primàries de cada modalitat sensorial (Vilallonga et al., 2012).

memòria: funció cognitiva que ens permet codificar, emmagatzemar i recuperar una informació o un succés concret. És un procés molt complex, en el qual hi

intervenen diversos processos neuronals interconnectats, que no resideixen únicament en un lloc del cervell. En funció del temps de permanència de la informació que es codifica se sol diferenciar entre memòria sensorial, memòria a curt termini i memòria a llarg termini. (Fernández et al., 2010).

model dels dos components per l'OA: teoria cognitiva postulada per Levitin, (1994), que diu que l'OA es comprèn per dos processos essencials. El primer (memòria tonal) està constituït per una representació a llarg termini dels tons, que existeix presumptament en tots els humans fins a cert punt (com s'ha demostrat en les paradoxes prèviament mencionades). El segon component (etiquetatge dels tons) està format per les associacions entre les representacions a llarg termini dels tons amb una etiqueta significativa (per exemple, *Do#*). El segon factor existeix exclusivament en els individus amb OA.

model lineal general: model d'anàlisi de dades molt útil a l'hora de comparar com afecten diverses variables sobre una variable contínua. Permet veure característiques a gran escala (Leipold, Brauchli, et al., 2019).

neocòrtex (o isocòrtex): còrtex d'origen més recent, encarregat de processos del raonament i del pensament abstracte. Està constituït per sis capes cel·lulars i es troba present en tot el còrtex excepte en l'hipocamp, i les àrees i estructures relacionades amb l'olfacte (Vilallonga et al., 2012).

neurociència: ciència multidisciplinària que té com a objectiu l'estudi del sistema nerviós, des dels aspectes més bàsics, moleculars i cel·lulars, fins als de major complexitat, com els processos mentals o el comportament. Integra, entre d'altres, les branques de neurologia, neuroanatomia, neurohistologia, neuroquímica, neurofarmacologia, etc (Vilallonga et al., 2012).

neuroplasticitat: és la capacitat de les neurones i dels circuits neuronals del cervell de canviar les seves connexions i comportament en resposta a nova informació, simulació sensorial, desenvolupament, dany o disfunció (Seel, 2012).

nota: signe gràfic que s'usa per a representar cadascun dels sons d'una composició musical; correspon a una freqüència determinada de l'ona sonora,

segons la referència de cada escala musical (Gran Enciclopèdia Catalana, 2018b).

oïda absoluta (OA): habilitat d'identificar i/o produir una nota sense necessitar un to de referència extern (Deutsch, 2014), present entre l'0,01% i l'1% de població, amb igual prevalença en ambdós gèneres, tot i que està distribuïda de manera desigual a través de les poblacions (Loui, 2014).

oïda absoluta implícita: cert grau d'OA que manifesta la majoria de la població però que no implica anomenar directament les notes sinó recordar i cantar el to exacte d'alguna cançó, o determinar si una peça familiar està tocada en el to correcte. L'OA implícita es fa palesa en il·lusions com la paradoxa tritonal (Deutsch, 2014).

oïda relativa (OR): habilitat d'anomenar la relació entre dos notes. En contrast amb l'Oïda Absoluta, és molt comuna entre músics (Zatorre et al., 1998).

oïda: sistema sensorial amb què es perceben els sons (Vilallonga et al., 2012).

P300: PE endogen que assoleix el seu pic al voltant dels 300 ms després de l'inici de l'estímul; indicia la capacitat de discriminació dels estímuls auditius. Se'n poden distingir els subcomponents P3a i P3b (Sur & Sinha, 2009).

paradigma Oddball: en el camp auditiu, mètode molt emprat per a l'estudi dels potencials evocats en el qual es presenta un to freqüent (patró, 90%) i uns tons no tant freqüents (desviant, 10%), és a dir, canvis en el patró auditiu (Greber et al., 2018).

percepció: procés mental mitjançant el qual una persona interpreta els estímuls sensorials atorgant-los significat i organització. És una operació complexa que no pot existir sense sensació prèvia (Institut d'estudis catalans, n.d.).

període crític: període del desenvolupament del sistema nerviós durant el qual és extremament sensible als efectes de l'estimulació externa o de l'experiència (Vilallonga et al., 2012). Sembla ser que per a l'OA, aquest període succeeix abans dels 9 anys; òptimament entre els 3 i 6 anys de vida (Miyazaki, 2004).

També pot veure's modelat per la ingesta de determinats medicaments com el *valproat* (Loui, 2014).

planum polare (o pla polar): àrea 52 de Brodmann, situada a la part anterior al gir de Heschl, al pla temporal superior, dins del solc lateral o cissura de Silvi. Forma part de l'àrea auditiva secundària (o regió *belt*) i s'ha vist recentment implicat en l'OA (Kim & Knösche, 2017).

planum temporale (o pla temporal): àrea cortical situada a la part posterior del gir de Heschl, al pla temporal superior, dins del solc lateral o cissura de Silvi, que allotja l'àrea auditiva secundària (o regió *belt*) (Vilallonga et al., 2012). És una regió associada al llenguatge, doncs coincideix amb part de l'àrea de Wernicke, i a l'OA.

polimorfisme: presència de diverses formes d'un caràcter o d'un gen en una població (Institut d'estudis catalans, n.d.).

potencial de disparitat (en anglès, *mismatch negativity*, MMN): desviació negativa de l'ona captada en els potencials evocats endògens que assoleix el seu pic entre els 100 i 250 ms després de l'inici de l'estímul. Permet mesurar la capacitat automàtica de detectar canvis en les característiques físiques de l'estimulació no atesa (Grabulosa et al., 2016).

Potencials Evocats (PE): canvis de voltatge de poca amplitud característics de l'activitat elèctrica cerebral, originats per la sincronització de grups neuronals implicats en el processament d'un estímul sensorial, en l'execució d'una resposta motora o en la realització d'alguna operació de processament cerebral. Es classifiquen en PE exògens i PE endògens (Grabulosa et al., 2016).

prosòdia: conjunt de variacions en l'accentuació, en l'entonació i en la durada de les paraules que transmeten informació (Fabra, n.d.).

ressonància magnètica (RM): tècnica d'imatgeria basada en la propietat d'alguns nuclis atòmics d'absorbir i alliberar energia quan són sotmesos a un camp magnètic intens, que permet obtenir imatges tomogràfiques d'un organisme i reconstruir-les a través d'un ordinador (Vilallonga et al., 2012).

senyal BOLD: canvi en el senyal de la ressonància magnètica funcional produït per una variació de la proporció d'hemoglobina oxigenada enfront d'hemoglobina no oxigenada en la sang de la regió cerebral estudiada. El senyal dependent del nivell d'oxigen a la sang està correlacionat amb el grau d'activitat de les regions cerebrals i es fa servir per a estudiar-ne les funcions. La sigla BOLD prové de l'anglès, *blood oxygen level dependent signal* (Vilallonga et al., 2012).

síndrome de Williams: síndrome congènita molt poc freqüent caracteritzada per la presència d'alteracions facials i deficiències en algunes tasques cognitives, associada amb alteracions en el cerebel, l'escorça parietal dreta i l'escorça frontal esquerra (Vilallonga et al., 2012).

sinestèsia: trastorn sensoperceptiu rar amb una incidència del 4,4% en la població general que provoca que uns determinats estímuls sensorials o cognitius generin automàticament una sensació sensorial addicional d'una altra modalitat (Brauchli, 2019).

sistema de solfeig de do-fixe: en aquests, els símbols de solfeig (do, re, mi, etc.) i les lletres (C, D, E, etc.) defineixen els tons reals i no varien. Ho són, per exemple, el mètode Yamaha i el "Royal College method"

sistema de solfeig de do-mòbil: en aquests, els símbols de solfeig defineixen els rols dels tons en relació a una tònica i les lletres defineixen els tons reals; el "do" pot ser associat amb diferents tons, depenent de la tonalitat en que es desenvolupa cada exercici (Loui, 2014).

sistema nerviós: sistema format per una xarxa complexa d'estructures neurals que regula les respostes d'un organisme a estímuls interns i externs (Vilallonga et al., 2012). Es pot dividir en el sistema nerviós perifèric (SNP), integrat pels nervis motors i sensitius que connecten el SNC amb les diferents parts del cos, i el sistema nerviós central (SNC), format per l'encèfal i la medul·la espinal, encarregat de rebre, integrar i elaborar una resposta a la informació rebuda a través dels nervis (Jiumedo et al., 2016). També es divideix, funcionalment, en el sistema nerviós sensorial, el sistema nerviós motor i el sistema nerviós autònom.

so complex: la seva ona sonora no té forma sinusoidal, i està demostrat matemàticament que qualsevol so complex es pot descompondre en un conjunt de simples, i viceversa. Ho són els sons corrents del nostre entorn com els sorolls, la veu humana o els instruments musicals (Universitat Politècnica de València, 2015).

so pur (o simple): tenen una ona sonora sinusoidal amb una freqüència f determinada. El seu període d'oscil·lació és d' $1/f$ segons. Normalment són sintetitzats amb aparells electrònics, ja que costa molt trobar-los en la natura (Universitat Politècnica de València, 2015).

so: sensació produïda en el nostre òrgan auditiu per les vibracions dels cossos elàstics, propagades per un medi en forma d'ona sonora, que normalment sol ser l'aire (Gran Enciclopèdia Catalana, 2018).

solc intraparietal (SIP): solc o cissura transversal situada a la superfície externa del lòbul parietal que separa el gir parietal superior del gir parietal inferior (Vilallonga et al., 2012).

solc temporal superior (STS): solc o cissura que separa el gir temporal mitjà del gir temporal superior (Burkhard et al., 2019).

substància o matèria blanca: substància nerviosa de l'encèfal i de la medul·la espinal (sistema nerviós central) formada principalment pels axons recoberts de beina de mielina (Vilallonga et al., 2012).

substància o matèria grisa: substància nerviosa de l'encèfal i de la medul·la espinal formada principalment pels cossos de les neurones (Vilallonga et al., 2012).

tasca de Stroop: prova cognitiva en la qual es presenten interferències entre els estímuls i les respostes habituals; s'utilitza per a estudiar la flexibilitat cognitiva i l'atenció selectiva (ex: llegir la paraula *verd* en tinta vermella; cantar la paraula *mi* a la freqüència de *do*) (Vilallonga et al., 2012).

tensor de difusió: mètode d'estudi de la matèria blanca mitjançant la observació i valoració de la mobilitat de les molècules d'aigua (difusió) en la matèria blanca.

El tensor de difusió permet aconseguir una representació tridimensional de l'estructura estudiada (Noguerol et al., 2017)

teoria de grafs: estudi matemàtic de l'eficiència i distribució espacial de les xarxes de comunicacions (ex. xarxa neuronal). La teoria ve definida per dos paràmetres: el coeficient d'agrupament que indica quant “acumulats” estan els vèrtexs que formen la xarxa (és a dir, les neurones), i l'eficiència de transferència de la informació (indicada per distància mitjana entre aquests vèrtexs o neurones). Com més gran és el coeficient d'agrupament, la xarxa que uneix les neurones és més intricada (Zumalacárregui & Rué, 2012).

to: propietat del so que correspon a la freqüència, el nombre de vibracions que experimenta un cos per segon, mesurada en Hertz (Hz). Es consideren sons greus aquells que van des dels 15 Hz fins els 300, i aguts els compresos entre 300 i 20 000 Hz, aproximadament (Gran Enciclopèdia Catalana, 2018b).

tomografia per emissió de positrons (TEP, PET en anglès): tècnica que consisteix en administrar una substància radioactiva a l'organisme (radioisòtop emissor de positrons), sovint una petita quantitat de glucosa radioactiva, per obtenir imatges de les àrees de l'organisme que absorbeixen aquesta substància (Vilallonga et al., 2012).

tracte oblic frontal: fascicle que connecta l'àrea motora presuplementària (pre-SMA) i la l'àrea motora suplementària (AMS), que formen part del gir frontal superior, amb el gir frontal inferior (GFI) (Bowden et al., n.d.)

trastorn de l'espectre autista: trastorn del neurodesenvolupament que es manifesta des de la primera infància, caracteritzat per un dèficit persistent en les habilitats sociocomunicatives no atribuïble a un retard del desenvolupament i per patrons de comportament, interessos o activitats restringits i repetitius (Vilallonga et al., 2012).

via dorsal: via neural de processament de la informació – sistema de connexions establert entre diferents neurones que constitueixen un circuit funcional – que forma part del model de les dos vies auditives. Parteix del planum temporale i arriba a l'àrea dorsolateral del còrtex prefrontal. Permet la integració sensorial-

motora, l'articulació i les funcions de memòria verbal (Leipold, Greber, et al., 2019).

via ventral: via neural de processament de la informació – sistema de connexions establert entre diferents neurones que constitueixen un circuit funcional – que forma part del model de les dos vies auditives. Parteix del còrtex auditiu primari i regions pròximes (com el planum polare) i arriba fins el gir frontal inferior. Està involucrada en el processament dels espectres sonors complexos i facilita el reconeixement d'aquests (Leipold, Greber, et al., 2019).

xarxa (o circuit) neuronal: conjunt funcional de neurones interconnectades físicament o relacionades funcionalment que s'influencien les unes a les altres (Vilallonga et al., 2012).

